

UNIVERSIDADE DE ÉVORA

**AVALIAÇÃO DA REGA COM RAMPAS ROTATIVAS.  
CASO DE ESTUDO EM CONDIÇÕES MEDITERRÂNICAS.**

DISSERTAÇÃO PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM  
**ENGENHARIA AGRONÓMICA**

**ANTÓNIO JOSÉ VITORINO BAPTISTA**

ORIENTADOR: PROFESSOR DOUTOR LUIS LEOPOLDO DE SOUSA E SILVA

ÉVORA, 2011

## **AGRADECIMENTOS**

Neste momento, e após catorze anos de vida profissional activa, o meu agradecimento e reconhecimento à Universidade de Évora, que me proporcionou a maioria da minha formação.

Um agradecimento também ao Instituto Superior de Agronomia, onde realizei um curso de especialização, bem como a outras entidades que ao longo deste período me têm permitido adquirir mais conhecimento e experiência.

Ao meu orientador, Prof. Luís Leopoldo Silva, pelo apoio constante ao longo da vida académica, sugestões, críticas e revisão do texto, bem como pela sua amizade, disponibilidade e dedicação, o meu mais sincero agradecimento.

Aos meus pais, pequenos fruticultores, que sempre me apoiaram ao longo dos meus estudos e dos quais herdei o vício da agricultura, para eles o meu eterno reconhecimento.

À Liliana e aos meus filhos Miguel e Matilde, que tiveram de abdicar da minha companhia e atenção, pela paciência e incentivo, ao longo do curso de especialização e principalmente na fase final deste trabalho.

Finalmente à restante família, amigos e colegas de trabalho, cuja amizade, incentivo e ajuda foram um suporte indispensável ao longo deste período e deste trabalho.

A todos o meu agradecimento

## RESUMO

Nos últimos anos, no Alentejo, assistiu-se a um aumento da área regada, principalmente pelos sistemas de rega gota a gota e também por aspersão, dentro da qual se destacam os “center-pivot”, e que em português se podem designar por rampas rotativas. Porém a sua utilização em solos com reduzida infiltrabilidade, como é o caso dos solos Mediterrâneos, necessita de acompanhamento nomeadamente na determinação das equações de infiltrabilidade e nas medidas a tomar no sentido de evitar o escoamento e a erosão do solo.

Neste trabalho, o objectivo genérico é uma actualização do conhecimento da rega com rampas rotativas, sua avaliação e sua adaptabilidade aos solos argiluvitados, caracterizados por apresentarem um processo de infiltração moderadamente rápido no horizonte A e drasticamente reduzido no B, devido à especificidade do seu perfil.

A experimentação incidiu sobre uma rampa rotativa, regando cerca de 70 ha de milho, onde se realizaram vinte e uma regas. Foram estudadas as condições de funcionamento da rampa, o comportamento do solo principalmente a infiltração, tendo sido realizados e comparados diferentes testes de infiltração e ainda foi monitorizado a evolução do teor de água do solo. É de registar alguns problemas de sob dimensionamento da rampa e de uma cada vez mais reduzida taxa de infiltração do solo com o decorrer do ensaio, devido à intensificação do efeito da crosta superficial, o que conduziu a elevados escoamentos, erosão do solo e acumulação superficial de água.

**Palavras chave:** Rampa rotativa, solos Mediterrâneos, uniformidade e eficiência da rega, necessidades de rega, infiltração.

# **EVALUATION OF CENTER-PIVOT IRRIGATION. CASE STUDY IN MEDITERRANEAN CONDITIONS.**

## **ABSTRACT**

In the last few years, the Alentejo region has witness an increase of irrigated areas, especially with the use of drip and sprinkler irrigation systems, and where center-pivot have been one of the farmers first choices. However, the use of these systems in soils with low infiltration rates, as it is the case of the Mediterranean soils, requires particular care in the management of the system to avoid runoff and soil erosion.

In this study, the overall objective is to make an update of the knowledge of irrigation using center pivot systems, their evaluation and their adaptability to luvisol soils, characterized by an infiltration process moderately fast on the horizon A and drastically reduced in B due to the specific characteristics of the soil.

The study was focused on a center pivot, irrigating an area of near 70 ha of maize, where there were evaluated twenty-one irrigation events. It were studied the operating conditions of the irrigation system, the infiltration process of applied irrigation water, by performing infiltration tests and by the monitoring of soil water content along the crop season.

It were detected some problems due to a deficient design of the irrigation system, and the increase of runoff and soil erosion along the irrigation events caused by a decrease in the soil infiltration capacity.

**Keywords:** Center-pivot, Mediterranean soils, irrigation uniformity and efficiency, crop water requirements, infiltration.

## ÍNDICE GERAL

	Pág.
<b>RESUMO</b> .....	V
<b>ABSTRACT</b> .....	VI
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	IX
<b>ÍNDICE DE QUADROS</b> .....	XI
<b>LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS</b> .....	XII
 <b>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO</b>	
1.1 - Considerações gerais.....	1
1.2 - Objectivos do trabalho.....	2
1.3 - Organização e apresentação do trabalho.....	3
 <b>CAPÍTULO 2 - A REGA COM RAMPAS ROTATIVAS</b>	
2.1 - Introdução.....	4
2.2 - Caracterização das rampas rotativas.....	5
2.2.1 - Estrutura física.....	5
2.2.2 - Aspersores.....	8
2.2.3 - Movimento da rampa.....	11
2.2.4 - Acessórios para rampas rotativas.....	12
2.3 - Precipitação e infiltração.....	13
2.3.1 - Fases do processo precipitação - infiltração.....	15
2.3.2 - Medição da infiltração.....	16
2.4 – Parâmetros de avaliação da rega.....	18
 <b>CAPÍTULO 3 - MATERIAL E MÉTODOS</b>	
3.1 - Caracterização do local de ensaio.....	22
3.1.1 - Localização geográfica.....	22
3.1.2 - Caracterização climática.....	22
3.1.3 - Caracterização topográfica.....	23
3.1.4 - Caracterização hidropedológica.....	24
3.1.4.1 - Descrição do perfil do solo .....	24
3.1.4.2 - Análise textural.....	26
3.1.4.3 - Determinação da densidade aparente do solo.....	27
3.1.4.4 - Parâmetros de humidades características do solo.....	28
3.2 - Descrição do equipamento de rega e suas condições de funcionamento.....	31
3.2.1 - A rampa rotativa.....	31

3.2.2 - O sistema de bombagem.....	32
3.2.3 - O sistema de fertirrigação.....	33
3.2.4 – Condições de funcionamento do equipamento de rega.....	33
3.3 - Descrição da cultura e respectivas operações culturais.....	37
3.4 - Cálculo das necessidades hídricas da cultura.....	37
3.5 - Avaliação do sistema.....	41
3.5.1 - Recolha dos dados de campo.....	43
3.5.1.1 - Calibração da Sonda Capacitiva.....	45
3.6 – Ensaio de infiltração.....	48

## **CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E SUA DISCUSSÃO**

4.1 – Análise da qualidade das regas.....	51
4.1.1 – Dotações aplicadas e recolhidas.....	52
4.1.2 – Uniformidade das regas.....	53
4.1.3 – Eficiência das regas.....	58
4.1.3.1 – Quantidade de água aplicada e necessidades de rega estimadas....	62
4.1.4 – Evolução da água no solo.....	64
4.1.4.1 - Perfis de humidade do solo.....	64
4.2 – Análise da infiltração do solo e do escoamento potencial.....	73
4.2.1 – Ensaio de infiltração.....	73
4.2.2 – Avaliação do escoamento potencial.....	74
4.3 – Produção .....	76
4.4 – Proposta de melhoria no funcionamento do sistema.....	77

## **CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES .....**

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....**

<b>ANEXO I</b> - Descrição do perfil de um solo Pmg segundo Cardoso (1965).....	88
<b>ANEXO II</b> - Parâmetros de humidade do solo segundo Benami (1984) .....	89
<b>ANEXO III</b> - Cálculos das necessidades de rega através do programa “Cropwat”... ..	90
<b>ANEXO IV</b> - Teores de humidade do solo (% volume), de todas as regas analisadas e os restantes perfis de humidade do solo .....	92
<b>ANEXO V</b> - Curva característica da bomba Efacec NJ 150 - 400 .....	105

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Pág.
1 - Região polar completa, à direita; porção inicial da rampa rotativa incluindo a primeira torre móvel, à esquerda .....	6
2 - Disposição dos aspersores numa rampa rotativa.....	9
3 - Esquema de avanço de uma rampa rotativa .....	11
4 – Rampa rotativa equipada com tubos adicionais descendentes.....	12
5 - Abordagem clássica do problema precipitação/infiltração.....	15
6 - Esquema de um infiltrómetro por aspersão.....	17
7 - Perfil do solo (n.º 2).....	25
8 - Curvas da humidade-tensão do solo, para os horizontes A e B.....	30
9 - Intensidade de precipitação máxima ao longo da rampa.....	36
10 - Curvas de intensidade de precipitação (velocidade da rampa 25 e 60).....	36
11 - Realização da 1ª rega onde se visualiza a distribuição dos recipientes.....	44
12 - Calibração da Sonda Capacitiva, para o perfil (10-70 cm).....	47
13 - Realização de um teste de infiltração.....	49
14 - Diagrama de uniformidade, obtido na 1ª rega, no raio A.....	54
15 - Diagrama de uniformidade, obtido na 1ª rega, no raio B.....	55
16 - Diagrama de uniformidade, obtido na 2ª rega, no raio A.....	55
17 - Diagrama de uniformidade, obtido na 2ª rega, no raio B.....	56
18 - Representação simultânea do perfil topográfico do raio B e das pluviometrias recolhidas ao longo desse mesmo raio.....	57
19 - Água recolhida ao nível do copado e à superfície do solo, na 5ª rega.....	59
20 - Água recolhida ao nível do copado e à superfície do solo, na 6ª rega.....	60
21 - Água recolhida ao nível do copado e à superfície do solo, na 7ª rega.....	60
22 - Água recolhida ao nível do copado e à superfície do solo, na 8ª rega.....	60
23 - Água recolhida ao nível do copado e à superfície do solo, na 10ª rega.....	61
24 - Perfil de humidade, antes e após a 3ª rega, estação I.....	65
25 - Perfil de humidade, antes e após a 3ª rega, estação II .....	65
26 - Perfil de humidade, antes e após a 3ª rega, estação III .....	66
27 - Perfil de humidade, antes e após a 3ª rega, estação IV .....	66
28 - Perfil de humidade, antes e após a 3ª rega, estação V .....	66
29 - Perfil de humidade, antes e após a 7ª rega, estação I .....	68
30 - Perfil de humidade, antes e após a 7ª rega, estação II .....	68

31 - Perfil de humidade, antes e após a 7ª rega, estação III .....	68
32 - Perfil de humidade, antes e após a 7ª rega, estação IV .....	69
33 - Perfil de humidade, antes e após a 7ª rega, estação V .....	69
34 - Perfil de humidade, antes e após a 7ª rega, estação VI.....	69
35 - Perfil de humidade, antes e após a 12ª rega, estação I.....	71
36 - Perfil de humidade, antes e após a 12ª rega, estação II .....	71
37 - Perfil de humidade, antes e após a 12ª rega, estação III .....	72
38 - Perfil de humidade, antes e após a 12ª rega, estação IV .....	72
39 - Perfil de humidade, antes e após a 12ª rega, estação V .....	72
40 - Representação dos resultados obtidos nos testes de infiltração.....	73
41 - Curvas de intensidade de precipitação (velocidade da rampa 25 e 60) e curva da infiltrabilidade do solo obtida por Silva (2001).....	75
42 - Observação do escoamento ocorrido durante a 3ª rega, realizada com velocidade 25 e ainda com a crosta superficial numa fase incipiente.....	76
43 - Perfil de humidade, antes e após a 5ª rega, estação I.....	95
44 - Perfil de humidade, antes e após a 5ª rega, estação II.....	95
45 - Perfil de humidade, antes e após a 5ª rega, estação III.....	96
46 - Perfil de humidade, antes e após a 5ª rega, estação IV.....	96
47 - Perfil de humidade, antes e após a 5ª rega, estação V.....	96
48 - Perfil de humidade, antes e após a 8ª rega, estação I.....	97
49 - Perfil de humidade, antes e após a 8ª rega, estação II.....	97
50 - Perfil de humidade, antes e após a 8ª rega, estação III.....	98
51 - Perfil de humidade, antes e após a 8ª rega, estação IV.....	98
52 - Perfil de humidade, antes e após a 8ª rega, estação V.....	98
53 - Perfil de humidade, antes e após a 10ª rega, estação I.....	99
54 - Perfil de humidade, antes e após a 10ª rega, estação II.....	99
55 - Perfil de humidade, antes e após a 10ª rega, estação III.....	100
56 - Perfil de humidade, antes e após a 10ª rega, estação IV.....	100
57 - Perfil de humidade, antes e após a 10ª rega, estação V.....	100
58 - Perfil de humidade, antes e após a 14ª rega, estação I.....	101
59 - Perfil de humidade, antes e após a 14ª rega, estação II.....	101
60 - Perfil de humidade, antes e após a 14ª rega, estação III.....	102
61 - Perfil de humidade, antes e após a 14ª rega, estação IV.....	102
62 - Perfil de humidade, antes e após a 14ª rega, estação V.....	102
63 - Perfil de humidade, antes e após a 17ª rega, estação I.....	103
64 - Perfil de humidade, antes e após a 17ª rega, estação II.....	103
65 - Perfil de humidade, antes e após a 17ª rega, estação III.....	104
66 - Perfil de humidade, antes e após a 17ª rega, estação IV.....	104
67 - Perfil de humidade, antes e após a 17ª rega, estação V.....	104



## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro	Pág.
1 - Principais dados meteorológicos do local de ensaio.....	23
2 - Valores da análise granulométrica e classificação textural dos horizontes.....	26
3 - Valores da densidade aparente .....	27
4 - Valores da retenção da água no solo.....	29
5 - Dados auxiliares para a regulação e funcionamento da máquina.....	34
6 - Valores utilizados para os diferentes coeficientes, segundo tabelas de Doorenbos e Kassam (1986).....	39
7 - Necessidades de rega da cultura de acordo com os métodos utilizados.....	40
8 - Resultados dos parâmetros de avaliação das regas.....	51
9 - Calendarização e quantificação das regas realizadas ao longo do ensaio.....	52
10 - Valores de pressão no sistema e caudal estimados.....	53
11 – Resultados de uniformidade das regas.....	54
12 – Resultados da eficiência das regas.....	58
13 - Simulação da programação de rega utilizando o “Cropwat”.....	63
14 - Valores dos vários parâmetros culturais utilizados.....	90
15 - Cálculo da evapotranspiração e das necessidades de rega da cultura, tendo por base os dados climáticos de um ano médio.....	90
16 - Cálculo da evapotranspiração e das necessidades de rega da cultura, tendo por base os dados climáticos recolhidos ao longo do ensaio.....	91
17 - Teores de humidade do solo (% volume), obtidos nas diversas estações, antes e depois da 3ª, da 7ª e da 12ª rega.....	92
18 - Teores de humidade do solo (% volume), da 5ª, da 8ª e da 10ª rega.....	93
19 - Teores de humidade do solo (% volume), da 14ª e da 17ª rega.....	94

## SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

SÍMBOLO	GRANDEZA	DIMENSÃO
$\gamma$	peso volúmico	$M L^{-2} T^{-2}$
$\theta$	teor de água do solo	$L^3 L^{-3}$
$\alpha$	ângulo	---
$\Delta H_c$	perda de carga na conduta adutora	L
$\Delta H_L$	perdas de carga localizadas	L
$\Delta H_r$	perda de carga ao longo da rampa	L
$\Delta S$	variação do armazenamento de água no solo	L
$\Delta Z$	diferença de cotas	L
A	área	$L^2$
a	raio de alcance do nebulizador	L
AS	armazenamento de água no solo	L
Ci	altura de água recolhida pelo pluviómetro i	L
Cw	coeficiente de Hazen-Williams	---
D	dotação aplicada	L
d	distância considerada	L
di	distância do pólo ao pluviómetro i	L
Di	diâmetro interno da conduta	L
dm	intensidade máxima de precipitação dos nebulizadores	$L T^{-1}$
g	aceleração da gravidade	$L T^{-2}$
h	altura média de água aplicada por volta	L
$H_t$	altura total de elevação	L
$h_z$	espessura da camada	L
i	número de ordem	---
i	infiltrabilidade do solo	$L T^{-1}$
J	perda de carga unitária	---
K	coeficiente de perda de carga singular	---
Kc	coeficiente cultural	---
L	comprimento da conduta	L
$L_{\text{água}}$	leitura da Sonda Capacitiva na água	---
$L_{\text{ar}}$	leitura da Sonda Capacitiva no ar	---
$L_{\text{solo}}$	leitura da Sonda Capacitiva no solo	---
n	número de pluviómetros	---
P	pressão	$M L^{-1} T^{-2}$

$P_m$	pressão mínima de funcionamento	L
$P_s$	peso do solo húmido + tara do pesa filtros	M
$P_s'$	peso do solo seco a 105 °C + tara do pesa filtros	M
Q	caudal	$L^3 T^{-1}$
$q_L$	caudal aplicado por metro linear de rampa	$L^2 T^{-1}$
$Q_o$	caudal óptimo ou caudal de projecto	$L^3 T^{-1}$
r	coeficiente de correlação	---
R	comprimento da rampa	L
S	área molhada	$L^2$
T	tara do pesa filtros	M
Tr	tempo de rega diário	T
$t_v$	número de horas por volta	---
t	tempo	T
U	velocidade	$L T^{-1}$
UF	frequência universal	---
v	velocidade da rampa	$L T^{-1}$
$V_e$	velocidade máxima de elevação	$L T^{-1}$
Z	cota geométrica	L

### 1.1 Considerações gerais

A rega é uma prática usada na agricultura com a finalidade de complementar as deficiências do clima de uma dada região, em função do balanço negativo que se verifica entre o fornecimento de água por precipitação e o poder evaporante da atmosfera. Quando termina a chuva, os valores da água perdida pelas plantas e pela superfície do solo sobem e torna-se necessário fornecer, por um processo artificial, a água considerada suficiente para anular o balanço negativo entre a precipitação e a evapotranspiração. Assim as necessidades de rega estão intimamente dependentes, por um lado, do clima da região e por outro das características físicas do solo, nomeadamente no que respeita à sua capacidade de armazenamento e facilidade de exploração pelas raízes das plantas.

Nos regadios alentejanos predominam os solos Mediterrâneos, caracterizados por apresentarem um horizonte superficial ligeiro, de espessura relativamente pequena, sobre um horizonte argílico muito compactado, o que conduz à formação de toalhas freáticas suspensas no Inverno, enquanto que no Verão o solo endurece muito rapidamente e dificulta a penetração das raízes. Estes factores condicionam grandemente a sua capacidade para o fornecimento de importantes quantidades de água ao longo do ciclo vegetativo das culturas.

A existência destes solos verifica-se particularmente em terrenos de topografia ondulada, embora suave, não sendo muitas vezes viável a regularização do terreno, dificultando a prática de rega por superfície, pelo que se assiste nos últimos anos a uma expansão crescente dos sistemas de rega por aspersão no Alentejo, principalmente os semoventes,

ocupando zonas onde habitualmente não se regava ou se utilizavam os sistemas tradicionais. No entanto a opção por rampas rotativas que funcionam com baixa pressão, numa tentativa de diminuir os custos de energia, a reduzida informação sobre as suas condições de funcionamento quando utilizados nestes solos, provocam a existência de muitos sistemas mal dimensionados, conduzindo a excessivos consumos de água e incrementos na erosão do solo, pelo que a sua avaliação nestas condições toma grande importância e interesse. Por outro lado, o crescimento do regadio no Alentejo, fundamental para o desenvolvimento agrícola, torna imprescindível uma adaptação a estas técnicas de rega, o que obriga a pensar seriamente na formação e preparação dos produtores, por forma a conseguir o emprego e bom aproveitamento das mesmas.

## **1.2 Objectivos do trabalho**

Após a concepção, muitas vezes baseada em suportes nem sempre verdadeiros, e a instalação do sistema de rega, geralmente não se verifica o ajuste da solução escolhida à situação real da exploração. O solo, a cultura, as condições atmosféricas, o tipo de máquina e o produtor, afectarão o desempenho de todo o sistema de rega e consequentemente a resposta da cultura.

Pretende-se pois, como objectivos gerais deste trabalho, uma actualização dos conhecimentos acerca dos factores anteriormente referidos e a sua interacção, o que envolve forçosamente uma avaliação da qualidade da rega, através de alguns parâmetros de funcionamento como a uniformidade e a eficiência de aplicação. O cumprimento destes objectivos engloba também o acompanhamento da evolução do teor de água no solo antes e após as regas, a determinação das características de infiltração do solo, sua variação e influência na

quantificação das dotações de rega mais adequadas, além da respectiva frequência de aplicação.

Pretende-se também determinar as necessidades hídricas da cultura ao longo do seu ciclo, com base tanto em dados meteorológicos médios como nos ocorridos durante o ensaio, comparando os valores obtidos.

Para a medição da taxa de infiltração do solo utilizou-se, um infiltrómetro de aspersão, por parecer o mais adequado para simular este sistema de rega, cujos resultados iremos comparar com outros resultados obtidos actualmente em testes feitos utilizando uma rampa.

Finalmente, este trabalho tem também como objectivo possibilitar ao produtor um maior conhecimento do sistema, capacitando-o para modificar e melhorar as suas condições de funcionamento.

### **1.3 Organização e apresentação do trabalho**

O próximo capítulo, o 2º, é dedicado à revisão bibliográfica sobre as rampas rotativas e a sua utilização. Procura-se abordar a composição e funcionamento da rampa rotativa, a problemática da precipitação vs infiltração e os parâmetros de avaliação da rega realizada por estas máquinas.

No 3º capítulo descreve-se o campo de ensaio, o equipamento, a cultura e a consequente metodologia aplicada no trabalho de campo e na análise de resultados.

No 4º capítulo apresentam-se e discutem-se os resultados obtidos na avaliação das regas e comparam-se valores entre diferentes métodos de cálculo, ou com estudos similares.

Para finalizar, no capítulo 5 apresentam-se as conclusões e sugestões quer para um melhor aproveitamento do sistema em causa, quer para estudos futuros no domínio da rega por rampas rotativas.

## **2.1 Introdução**

Surgiram há cerca de 50 anos nos E.U.A. as primeiras máquinas de rega designadas por “center-pivot” e que, em Portugal, tomam o nome de rampas rotativas (Raposo, 1994).

É das máquinas que permite maior automatização da rega, que cobre maiores áreas e ao cumprimento da função inicial, a rega, adiciona-se a possibilidade de efectuar fertirrigação e tratamentos fitossanitários. Estes aspectos favoreceram a sua rápida expansão e em 1980 mais de 3 000 000 ha nos E.U.A. eram já regados com este tipo de equipamento (Roland, 1986).

As dimensões reduzidas e as formas por vezes irregulares das parcelas nos países da Europa ocidental são menos favoráveis à implantação de rampas rotativas.

Em Portugal, é no Alentejo e no Ribatejo onde se encontra a maioria destes sistemas de rega, ocupando na totalidade do território nacional cerca de 20 000 ha (Luz, 1993). Nos últimos anos, e com o desenvolvimento do projecto do Alqueva, tem-se verificado um aumento das áreas regadas com estas máquinas, principalmente as que funcionam com baixa pressão, numa tentativa de diminuir os custos de energia. No entanto, estes sistemas funcionando a baixa pressão, são muitas vezes incompatíveis com a reduzida capacidade de infiltração dos nossos solos, conduzindo a problemas de escoamento e erosão do solo.

## **2.2 Caracterização das rampas rotativas**

Uma rampa rotativa pode definir-se como sendo uma máquina de rega automática, que consiste num conjunto de aspersores, dispostos ao longo de uma tubagem suportada por torres automotrizes que realizam um movimento circular coordenado em torno de um ponto. De acordo com Raposo (1994), classifica-se como sendo um sistema semovente com movimento de rotação em torno de uma extremidade.

Existem também rampas rebocáveis, que tem a possibilidade de operar em mais de um pólo ou centro. Neste caso a deslocação é feita por meios autónomos ou a reboque de um tractor, sendo uma operação morosa e melindrosa. São pouco frequentes instalações deste tipo pois agravam-se severamente os aspectos frágeis destas máquinas.

### **2.2.1 Estrutura física**

A rampa é uma sucessão de tubos de diâmetro entre 4,5 a 8 polegadas (114 a 202 mm), que podem ser eventualmente telescópicos (Rolland, 1986), capazes de permitir a alimentação à pressão desejada e sem excessiva perda de carga. O comprimento da rampa é muito variável, desde 80 a mais de 650 m, regando áreas entre 4 ha a mais de 120 ha (Hoffman, 1992).

É construída em chapa de alumínio ou em ferro, protegido contra a corrosão e incrustações pela água, fertilizantes e pesticidas. Esta protecção é vulgarmente feita por zincagem (galvanização) e mais raramente através de uma “pintura epoxídica” com benefícios sensíveis na redução da perda de carga contínua (Serafim, 1994).

A região polar é constituída pela torre fixa e pela sapata (Serafim, 1994). A torre fixa apresenta a forma de uma pirâmide quadrangular, enquanto que a sapata é normalmente construída em betão armado e dimensionada para resistir ao momento desenvolvido pelo



movimento da rampa e que pode atingir segundo Rolland (1986) valores de 15 000 N. A ligação entre a torre fixa e o primeiro lanço ocorre na extremidade do troço ascendente designando-se por ponto de rotação.

Os dispositivos de regulação e comando do abastecimento de água e electricidade encontram-se no quadro de comando colocado numa das faces da torre fixa.

O manómetro, que mede a pressão de entrada de água na rampa, é um dos mais importantes instrumentos de controlo de funcionamento da máquina e pode ser colocado no troço ascendente ou imediatamente a jusante da curva superior da conduta, sendo aí no entanto de mais difícil leitura.



**Figura 1 - Região polar completa, à direita; porção inicial da rampa rotativa incluindo a primeira torre móvel, à esquerda.**

A rampa encontra-se apoiada em torres móveis, ou somente torres, que sustentam e permitem a deslocação sobre o terreno. Estas estruturas em forma de  $\Delta$  ou em forma de A possuem duas rodas motrizes pneumáticas e quando avançam deslocam-se perpendicularmente à rampa.

Os mecanismos de propulsão mais comuns são os motores eléctricos de potência entre 0,5 e 2 cv, e os motores hidráulicos que utilizam a energia da água sobre pressão recorrendo à utilização de turbinas ou pistões. Existem ainda outros mecanismos como os motores óleo-hidráulicos e os de ar comprimido, embora menos comuns (Luz, 1991).

Um sistema de locomoção hidráulico, constitui só por si, uma perda de caudal e de energia de pressão da água, exigindo uma pressão da água no pólo superior a  $6 \times 10^5$  Pa (Serafim, 1994). Além disso, o sistema hidráulico apresenta a desvantagem de não poder funcionar no caso da máquina não estar a regar.

A propulsão eléctrica resultou num abaixamento da pressão exigida no pólo, diminuindo o consumo energético requerido por este tipo de máquina e permite modificar a velocidade da rampa, através de um simples mecanismo de selecção de velocidades.

A transmissão que é responsável por dar continuidade ao movimento do motor até às rodas, pode realizar-se por diferentes mecanismos, tendo como finalidade atingir elevados rendimentos na cadeia de transmissão e minimizar os custos de investimento e de operação. Os mecanismos mais comuns são: cardans, rodas dentadas, veios e correntes, embora este último se encontre em desuso.

A porção da rampa e restante estrutura de sustentação entre duas torres toma o nome de lanço e o seu comprimento varia entre 30 a 70 m (Rolland, 1986), sendo condicionado por problemas de resistência mecânica da tubagem e pela carga que podem suportar as rodas em terreno molhado.

A junção e articulação de dois lanços adjacentes ocorre sobre a torre móvel através

de juntas flexíveis, permitindo individualizar os movimentos de cada lança.

A porção de rampa compreendida entre a última torre e a extremidade distal toma o nome de lança suspenso. Tal como o nome indica, encontra-se suspenso por tirantes de aço e não apresenta qualquer mecanismo de articulação com o lança anterior.

A altura livre sob lanças pode ser uniforme ao longo do mesmo, caso o lança seja rectilíneo, ou pode aumentar ligeiramente até ao centro do lança no caso deste ser arqueado. Esta altura pode variar segundo Serafim (1994) entre 1,5 e 4,2 m dependendo do porte das culturas, sendo as mais comuns em Portugal de aproximadamente 2,8 m.

Para parcelas de forma poligonal, Serralheiro (1985) refere a possibilidade de colocar no sistema um grande aspersor de funcionamento intermitente de modo a transformar a área regada de circular em aproximadamente quadrada. De maneira mais complexa existe o sistema "corner", que à custa de uma apropriada “articulação”, em determinado ponto da rampa, e do adequado funcionamento do canhão de extremidade, consegue cobrir formas relativamente irregulares (Raposo, 1994). Lion (1991) refere um sistema idêntico ao anterior de funcionamento electrónico, mas que apelida de “braço retráctil”.

### **2.2.2 Aspersores**

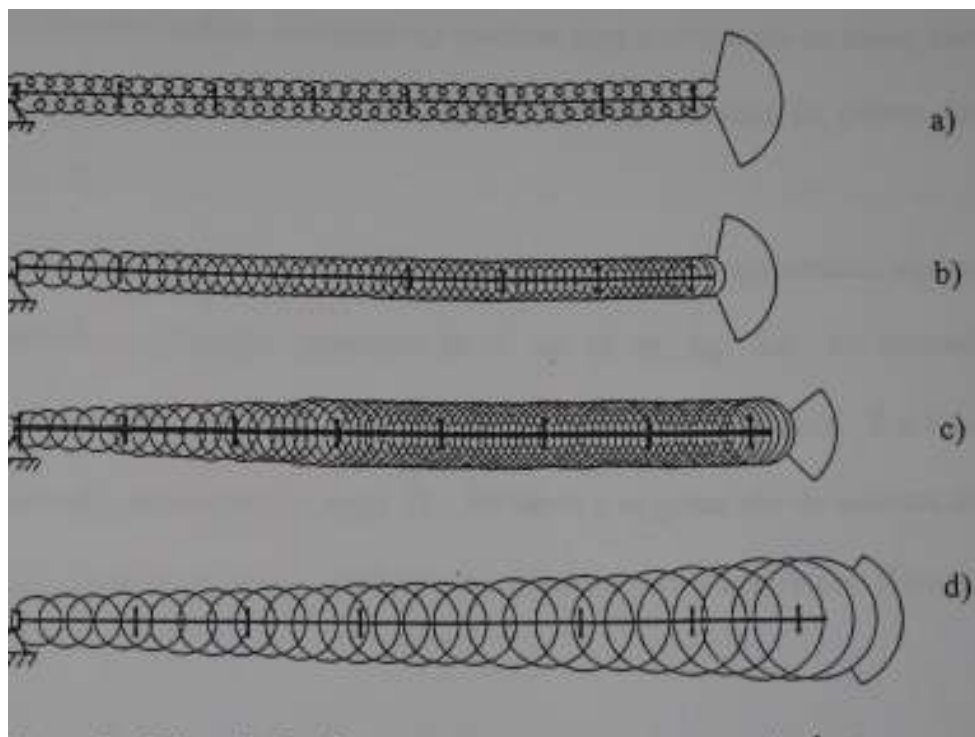
Os aspersores são as peças responsáveis pela distribuição da água ao terreno e são colocados ao longo da rampa por forma a garantir uniformidade da distribuição da água pela área regada.

Os aspersores aplicados nestas máquinas podem ser do tipo rotativo ou do tipo estático. Os aspersores rotativos utilizados rodam em torno de um eixo vertical, com rotação contínua; apresentam um martelo conjugado com deflector de jacto ligado a uma mola helicoidal e têm uma ou duas agulhetas de inclinação adequada (Serafim, 1994).

Os aspersores estáticos utilizados são os estáticos de cabeça, vulgarmente designados por nebulizadores. A água ao sair do bico embate num prato circular, o deflector, formando um leque. São os mais comuns nas rampas instaladas em Portugal pois permitem funcionar com menores pressões, possibilitando menores custos energéticos (Luz, 1991).

Os fabricantes de aspersores podem ainda instalar reguladores de pressão entre o bico e o tubo, para manter um caudal constante quando a pressão varia.

O tempo de aplicação de água sobre um ponto diminui ao longo da rampa desde a região polar até à extremidade distal. Para garantir uma uniformidade na distribuição a intensidade de aplicação ou precipitação tem de aumentar à medida que diminui o tempo de aplicação de água em cada ponto. A intensidade de precipitação depende da dimensão dos orifícios, da pressão de funcionamento, do espaçamento entre os aspersores e do seu raio de alcance. O aumento do caudal nos aspersores ao longo da rampa é proporcional ao aumento da área irrigada por unidade de comprimento radial (Chu e Moe, 1972).



**Figura 2 - Disposições dos aspersores numa rampa rotativa.**

No sentido de tornar a distribuição tão uniforme quanto possível impõe-se um aumento progressivo do caudal, ou um menor afastamento entre aspersores ou então uma combinação das duas soluções anteriores (fig. 2).

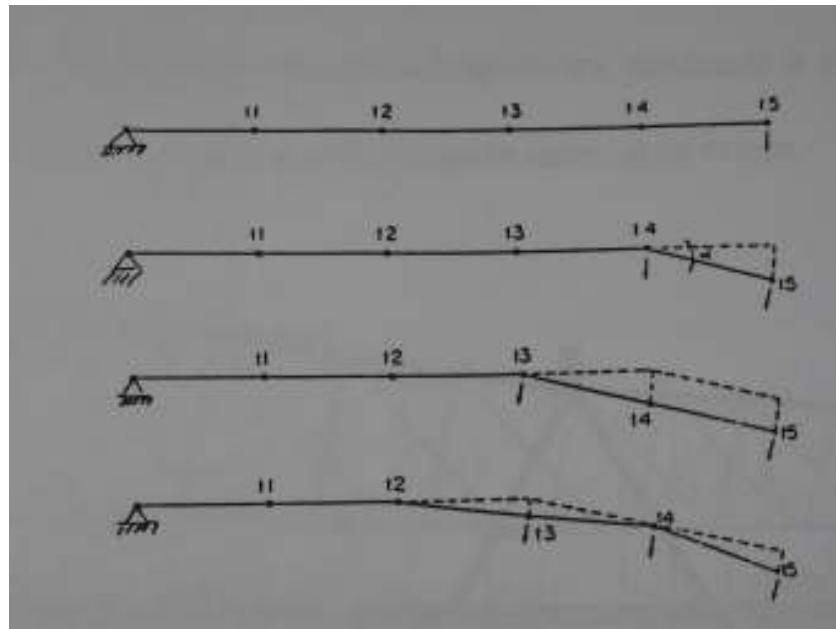
As rampas que funcionam a **baixa pressão**, ( $< 2,5$  bar), apresentam aspersores estáticos ou aspersores rotativos. No caso de possuir aspersores estáticos as saídas dispõem-se segundo a regra da equidistância, fig. 2-a. O seu reduzido alcance e a elevada intensidade da precipitação condiciona a sua utilização a solos de elevada infiltrabilidade, devido aos riscos de escoamento superficial. Segundo Oliveira (1993), este tipo de solução é a que aplica as mais altas pluviometrias, entre 150 a 300 mm/h e as gotas são as de menor dimensão. Os aspersores rotativos expostos em rampas de baixa pressão, respeitam o princípio das saídas de igual débito, fig. 2-b. Na prática divide-se a rampa em troços, cada um com a sua própria distância entre aspersores, sendo maior junto ao pólo e reduzindo-se no sentido da extremidade distal.

Nas rampas que funcionam a **média pressão**, (2,5 a 5,0 bar), os aspersores rotativos são aplicados com dada equidistância em cada troço, cujos valores são geralmente múltiplos de 1,5 m até um máximo de 12 m, fig. 2-c. Os custos de bombagem são mais elevados e os custos de investimento também tendem a ser maiores com a utilização de maior número de aspersores (Luz, 1991). Possibilita a aplicação de uma pluviometria da ordem dos 50-80 mm/h (Oliveira, 1993). As rampas que funcionam com **alta pressão**, ( $> 5,0$  bar), apresentam aspersores rotativos em saídas equidistantes afastados de 9 ou 12 m, fig. 2-d. As dimensões dos aspersores aumentam ao longo da rampa no sentido da extremidade distal. É a solução que aplica as mais baixas pluviometrias, entre 25 a 40 mm/h e as gotas são de maiores dimensões (Oliveira, 1993), mas as elevadas pressões de funcionamento acarretam elevados custos energéticos.

### 2.2.3 Movimento da rampa

A rampa inicia o seu movimento na última torre (fig. 3), com a velocidade que lhe é estabelecida no painel de comando. O avanço da última torre provoca a formação de um ângulo,  $\alpha$ , entre os dois últimos lanços. Quando  $\alpha$  atinge determinado valor a penúltima torre entra em movimento até que os dois últimos lanços estejam de novo alinhados. Este princípio transmite-se às restantes torres e lanços em direcção ao pólo.

No caso de falha no detector de alinhamento, existe um sistema de segurança que pára a máquina e o grupo de bombagem a fim de evitar qualquer dano na mesma, provocado por um avanço desmedido de uma ou várias torres em relação às outras (Oliveira, 1993).



**Figura 3 - Esquema de avanço de uma rampa rotativa (adaptada de Rolland, 1986)**

As rampas rotativas podem apresentar movimento num qualquer dos dois sentidos, imposto arbitrariamente, realizando 360°, definindo-se então como rampa de volta total. Caso sejam forçadas a interromper a volta completa e operarem alternadamente nos dois sentidos de rotação, devido por exemplo à presença de obstáculos, a rampa designa-se por sectorial.

#### **2.2.4 Acessórios para rampas rotativas**

Tendo por objectivo contrariar o efeito negativo do vento, podem adaptar-se tubos ou mangueiras sobre a rampa, denominados tubos adicionais descendentes (Serafim, 1994), resultando num abaixamento dos aspersores em relação ao solo (figura 4), que segundo Luz (1991) permite uma melhoria da eficiência em caso de ventos fortes e reduz a pressão de serviço.

No entanto à medida que o aspersor está mais perto do solo deixa de haver uma altura suficiente para se completar a rotura do jacto de água emitido, o que leva a que determinados pontos do terreno recebam mais água que outros, diminuindo assim a uniformidade da rega. Perante tal facto, Tarjuelo *et al.* (1999) recomendam uma altura do solo de cerca de 2 m, o que permitirá beneficiar de uma diminuição das perdas por evaporação e arrastamento pelo vento e continuar a ter uma altura suficiente para o padrão de distribuição da água ser uniforme.



**Figura 4 - Rampa rotativa equipada com tubos adicionais descendentes.**

No caso dos prolongamentos horizontais, instalam-se tubos adicionais horizontais, em cada saída, perpendicularmente à rampa, onde se colocam aspersores tendo por finalidade aumentar o raio molhado.

Num dos últimos lanços da máquina existe a possibilidade de adicionar uma pequena electro-bomba, designada por bomba sobrepessora, destinada a conferir um acréscimo de pressão para o normal funcionamento da parte terminal da rampa.

Para um melhor controlo do sistema pode recorrer-se à colocação de medidores de caudal. Embora constitua mais um ponto consumidor de energia, é dos acessórios cuja aquisição se pode mostrar bastante rentável.

Poder-se-á instalar válvulas de descarga no fim de cada lanço, que permitem o despejo de toda a água retida dentro da rampa quando se desliga a máquina.

## **2.3 Precipitação e infiltração**

A água proveniente da chuva ou da rega, ao contactar com a superfície de um solo não saturado, começa por se infiltrar com uma velocidade máxima (taxa de infiltração máxima). A continuação deste afluxo leva a uma diminuição gradual desta velocidade até atingir um valor constante, característico do próprio solo (Pinto, 1966).

Num solo estratificado que apresente uma camada superficial de textura grosseira seguida de uma camada de textura mais fina, a taxa de infiltração sob submersão constante à superfície é inicialmente controlada pela camada superior e quando a frente de humedecimento atinge a camada de textura mais fina, a taxa de infiltração desce e tende para o valor próprio desta camada (Santos Júnior, 1987). No entanto a taxa de infiltração depende de vários outros factores de que são exemplo a condutividade hidráulica, a estrutura do



solo, a porosidade, o teor de água inicial e a forma de entregar a água ao solo, pelo que o estabelecimento de uma possível relação entre a taxa de infiltração e a textura, encontra-se sempre rodeada de certas limitações.

As rampas rotativas são o sistema de rega por aspersão em que se geram os valores de intensidade de precipitação mais elevados, excessivamente superiores à infiltrabilidade do solo, ficando criadas condições para a ocorrência de excesso de água sobre o solo (Keller e Bliesner, 1990).

Considerando o solo de iguais características ao longo da rampa, ou seja com semelhante infiltrabilidade, como a intensidade de precipitação aumenta para a extremidade distal da rampa, é na porção terminal da rampa que se verificam os maiores problemas de escoamento ou retenção superficial.

Frequentemente as rampas que funcionam a baixa pressão apresentam intensidades de aplicação da água muito elevadas, muitas vezes incompatíveis com a capacidade de infiltração dos nossos solos, o que conduz a problemas de escoamento e erosão do solo. Iniciado o escoamento num ponto, a água em excesso desloca-se para outros pontos de cota inferior.

No entanto o escoamento depende de diversos factores (Silva, 2010), como sendo as características da própria máquina de rega, os factores meteorológicos, as características do terreno e os factores culturais.

Na rega por aspersão, ao contrário do que se verifica na rega de superfície, cada ponto da superfície do solo recebe gotas de água de forma intermitente. Esta forma descontínua de entregar a água ao solo vai permitir que em ínfimas porções do solo dispersas, o ar seja expulso para a atmosfera e substituído pela água, sem que fique aprisionado e comprimido (Serafim, 1994).

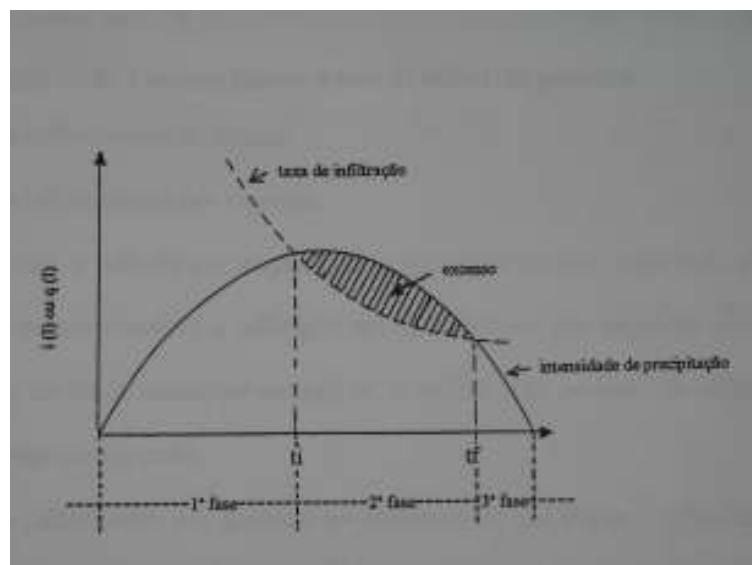
A formação de crosta superficial, que ocorre nalguns solos devido á fragilidade

estrutural que apresentam na sua parte superior, diminui a taxa de infiltração e conduz a maiores escoamentos e maior retenção superficial. Isto deve-se ao facto das crostas superficiais apresentarem maior densidade aparente, poros mais finos e menor condutividade hidráulica saturada que o solo inferior (Santos Júnior, 1987).

### 2.3.1 Fases do processo precipitação - infiltração

Neste processo, representado na figura 5, identificam-se três fases características e sequenciais no tempo:

- a primeira fase, desde o início da chuvada até ao instante  $t_i$ , em que a intensidade de precipitação é inferior a taxa de infiltração potencial.
- a segunda fase, coincide com o intervalo de tempo em que a intensidade de precipitação é superior à taxa de infiltração, gerando o excesso de água sobre o solo. Corresponde ao intervalo de tempo entre  $t_i$  e  $t_f$ .
- a terceira fase, desde o instante  $t_f$  até ao final da chuvada, durante a qual a intensidade de precipitação é sempre inferior à taxa de infiltração potencial.



**Figura 5 - Abordagem clássica do problema precipitação/infiltração (fig. adaptada de Serafim, 1994)**

### **2.3.2 Medição da infiltração**

Existe um número variado de métodos que podem ser utilizados para medir a infiltração directamente no campo, baseados na sua generalidade, no princípio da inundação de uma determinada área confinada e medição da taxa de entrada de água no solo.

Para o caso das rampas rotativas, Shockley (1968) citado por Dillon (1972), descreve um processo para obtenção das curvas de infiltração, em que o simulador é a própria rampa rotativa que, durante todo o tempo, se mantém imóvel, funcionando apenas o equipamento de aspersão. São colocados recipientes sobre o solo, perpendicularmente à rampa e equidistantes 1,5 m, com a função de recolher a precipitação. O objectivo consiste em garantir, sobre cada ponto do terreno, a ocorrência de uma chuvada de intensidade uniforme, durante o tempo necessário para se produzir empoçamento.

Utilizando a própria rampa, Silva (2001) realizou diversos testes de infiltração para determinação da melhor equação representativa da infiltração de um solo mediterrâneo. Neste trabalho, o autor, identifica os principais factores que influenciam a infiltrabilidade de um solo quando submetido a uma rega realizada por uma rampa rotativa, nomeadamente, factores da própria máquina, factores climáticos e finalmente factores do solo dos quais de destacam o teor de água do solo aquando da rega, a compactação e a formação de crosta superficial.

No entanto, quando a rampa não permite a total imobilização ou quando se pretende uma avaliação prévia da infiltração antes da instalação de sistemas de rega por aspersão existe a necessidade de recorrer a outros métodos, entre os quais os mais utilizados são os infiltrómetros por alagamento, os infiltrómetros de sulcos e os infiltrómetros por aspersão.

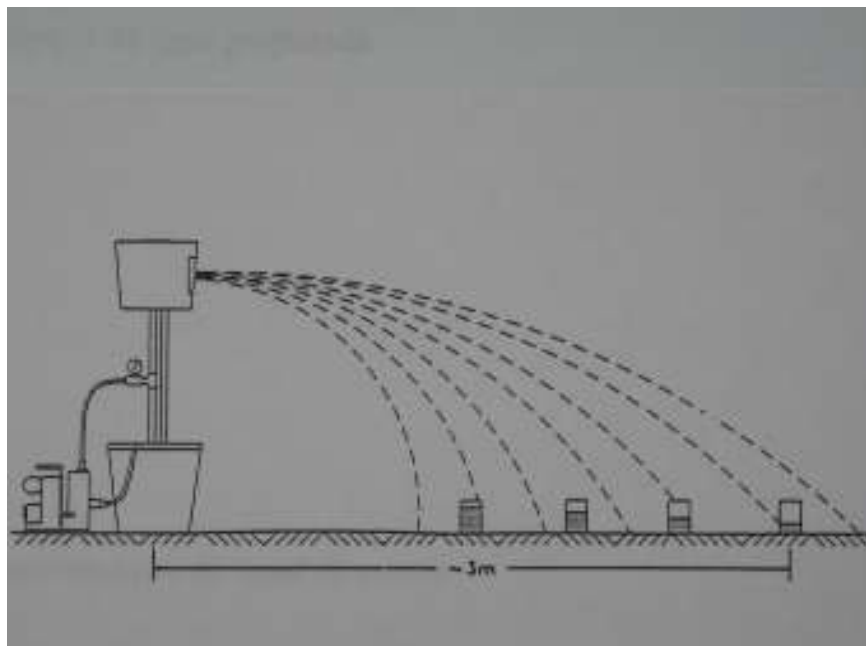
Embora o método por alagamento se apresente como o mais fácil, para o caso da rega com rampas rotativas a utilização de infiltrómetros por aspersão apresenta-se mais promissora, devido às condições específicas, já referidas, do processo de infiltração em

solos sujeitos a rega por aspersão.

Um infiltrómetro por aspersão foi desenvolvido por Beggs (1981) citado por Keller e Bliesner (1990), que tentou dar uma taxa de aplicação uniforme sobre uma pequena área debaixo de um pequeno aspersor de cabeça rotativa. Contudo, provou a dificuldade de obter tais aplicações uniformes sobre a pequena área molhada com este tipo de aparelho.

Reinders e Louw (1984) apresentaram um infiltrómetro (fig. 6) cuja constituição e princípio de funcionamento se sintetizam seguidamente:

- um recipiente que desempenha as funções de fonte de abastecimento de água;
- um aspersor rotativo;
- uma bomba accionada por um motor de explosão;
- um recipiente com uma janela lateral, colocado em torno do aspersor e que concentra a maioria da água projectada. Através da pequena janela passa o jacto que vai pulverizar uma área aproximadamente triangular. Nesta área são colocados, num raio, recipientes para recepção da água projectada.



**Figura 6 - Esquema de um infiltrómetro por aspersão (Reinders e Louw, 1984).**

Antes de cada ensaio de infiltração o solo deve ter sido submetido, no mínimo, a duas regas ou então a uma boa chuvada devido ao efeito que a formação de crosta tem para a infiltração e que tem que ser neste caso considerado. Como a curva de infiltração está em estreita relação com o teor inicial de humidade do solo, este processo deve realizar-se quando aquele for idêntico ao que costuma anteceder as regas.

São necessários, no mínimo, três pares de valores para um teste completo. A duração de cada teste deve ser no mínimo de 30 minutos (Reinders e Louw, 1984). Depois de cada teste ou o aparelho terá de ser movido para um ponto próximo e o processo repetido, ou alguns dias de tempo seco são exigidos antes de repetir o processo no mesmo local, uma vez que são necessários dois ou três testes de infiltração completos (Keller e Bliesner, 1990).

## 2.4 Parâmetros de avaliação da rega

Os parâmetros de avaliação mais estudados e referidos na bibliografia, Rolland (1986), Luz (1991) e Martin-Benito (1995), são a uniformidade e a eficiência. No entanto, estes termos não têm por vezes uma terminologia e concepção única.

### a) Coeficiente de uniformidade (C.U.)

O primeiro conceito de coeficiente de uniformidade, foi apresentado em 1942 por Christiansen e foi modificado em 1968 por Herman e Hein para avaliar a uniformidade em rampas rotativas, onde cada pluviómetro representa uma coroa circular de área crescente à medida que se afasta do pólo. Este coeficiente traduz-se por :

$$C.U. (\%) = \left( \frac{\sum d_i \left| C_i - \frac{\sum C_i d_i}{\sum d_i} \right|}{\sum C_i d_i} \right) \times 100 \quad (2.1)$$

em que: n - número de pluviómetros;

$C_i$  - altura de água recolhida pelo pluviómetro i (mm);

$d_i$  - distância do pólo ao pluviómetro i (m).

O vento é responsável por uma diminuição dos valores de C.U., diminuição esta muito superior no caso de sistemas de aspersão fixos. A rampa vai ocupando um número infinito de posições relativamente à direcção do vento, o que aliado a um espaçamento normalmente pequeno, conduzirá a uma certa compensação do efeito negativo do vento (Oliveira, 1993). Em ensaios realizados em rampas rotativas por Faci e Bercero (1991), verificou-se que os ventos superiores a 15,5 Km/h causaram, em 77,5 % dos casos, redução do coeficiente de uniformidade.

#### **b) Uniformidade de distribuição (U.D.)**

A uniformidade de distribuição é outro parâmetro de avaliação utilizados por vários autores e que tenta avaliar a uniformidade na zona do terreno que recebe menos água. É calculada através da expressão:

$$U.D.(%) = \left( \frac{\text{Altura média ponderada dos 25\% de pluv. que menos recolhem}}{\text{Altura média ponderada de água recolhida}} \right) \times 100 \quad (2.2)$$

Duas situações podem ocorrer quanto à uniformidade de distribuição ao longo de uma rampa rotativa: ou um grande número de pontos apresenta reduzida diferença em relação à média, ou um número restrito de pontos apresenta valores muito baixos em relação ao pretendido. Perante um caso, ou outro, assim a uniformidade de distribuição é maior ou menor respectivamente.

### **c) Eficiência potencial de aplicação (E.P.A.)**

A diferença entre a uniformidade de distribuição e eficiência potencial de aplicação, corresponde exactamente às perdas. Segundo Martin-Benito (1995), do total de perdas, aproximadamente 60 % correspondem a evaporação e 40 % a arraste pelo vento.

As perdas por evaporação e por arrastamento pelo vento dependem de factores climáticos, como a humidade relativa, a temperatura do ar e a velocidade do vento, mas também de alguns factores da própria máquina, tais como a dimensão das gotas formadas nos aspersores e a altura do aspersor ao solo (Silva, 2001).

Ensaio realizados (Silva, 2006) usando uma rampa polar equipada com aspersores estáticos de baixa pressão (140 kPa) com deflectores lisos e estriados, conduziram a perdas por arrastamento pelo vento e por evaporação de 20,8% para os deflectores lisos e de 12,8% para os deflectores estriados. O diferente tamanho das gotas produzido pelos diferentes deflectores, conduzem a estes diferentes resultados para as perdas por arrastamento pelo vento e por evaporação.

No entanto, para a mesma intensidade de aplicação, a utilização de deflectores estriados conduz a uma infiltrabilidade mais reduzida, devido essencialmente a uma maior compactação da superfície do solo (Silva, 2001), pelo que o deflector estriado só deve ser utilizado nas rampas rotativas em zonas muito ventosas.

A eficiência potencial de aplicação pode ser calculada por:

$$E.P.A.(%) = \left( \frac{\text{Altura média ponderada dos 25\% de pluv. que menos recolhem}}{\text{Altura média de água aplicada}} \right) \times 100 \quad (2.3)$$

#### **d) Eficiência de aplicação (E.A.)**

Este parâmetro de avaliação define-se como a fracção da água de rega fornecida ao solo, que é armazenada na zona radical ou consumida através de evapotranspiração, durante o período de rega (Walker, 1980).

Pode ser calculada pela expressão:

$$E.A.(%) = \left( \frac{\text{Valor médio da alt. de água infiltrada e armazen. na zona radical}}{\text{Altura média de água aplicada}} \right) \times 100 \quad (2.4)$$

É um parâmetro mais difícil de calcular pela dificuldade em identificar a profundidade a que estão as raízes das plantas ao longo do ciclo cultural e da necessidade de determinar o teor de água no solo a diferentes profundidades para se fazer o balanço de água no solo e assim se poder calcular em cada momento a quantidade de água armazenada na zona radical.

Devido a esta dificuldade, muitos autores, quando determinam a eficiência de aplicação na rega por aspersão consideram não a relação entre os valores armazenados na zona radical e os aplicados, mas sim a relação entre os valores da dotação útil para a planta e a dotação aplicada.



### **3.1 Caracterização do local de ensaio**

#### **3.1.1 Localização geográfica**

A parte experimental deste trabalho foi realizada na Cooperativa Agrícola do Cabido e Anexas, com uma área total de 1163,7 ha e com sede no Monte Cabidinho, Herdade do Cabido, freguesia de S.Gregório, concelho de Arraiolos e distrito de Évora. A recolha de dados de campo decorreu entre Abril e Outubro de 1996.

#### **3.1.2 Caracterização climática**

De forma a partir de um conjunto de dados suficiente para caracterizar um ano médio, teve que se recorrer à utilização dos dados meteorológicos da Estação Meteorológica de Évora, excepto os valores da precipitação em que se utilizaram os da Estação Hidrométrica da Barragem do Divor, uma vez ser este o posto hidrométrico mais próximo.

A caracterização climática, sintetizada no quadro seguinte, tem por base os dados meteorológicos médios mensais obtidos durante um período de 28 anos, ou seja entre o ano de 1964 e o ano de 1991, por serem aqueles de que se dispunha. Apresentam-se os valores

médios mensais da temperatura, da humidade relativa, da velocidade do vento após transformação para uma altura do anemómetro de 2 metros, da insolação, medida em número de horas mensal e ainda os valores mensais totais da precipitação.

**Quadro 1 - Principais dados meteorológicos do local de ensaio.**

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Temperatura ( °C)	9,4	10,0	11,7	13,3	16,3	20,2	23,1	23,3	21,7	17,1	12,8	9,9
Precipitação (mm)	74,4	79,2	51,7	51,6	32,1	21,0	6,5	5,5	22,1	67,2	70,7	77,9
Humidade relat. (%)	85,3	83,7	78,8	76,1	71,6	68,8	64,4	64,5	68,7	76,5	81,1	84,5
Vel. vento (m/s)	2,8	3,0	3,0	3,0	3,0	2,9	3,0	3,1	2,7	2,6	2,7	2,8
Insolação (n.º horas)	151,0	144,5	202,9	219,3	283,0	299,9	356,5	342,8	249,5	204,7	159,7	147,2

### 3.1.3 Caracterização topográfica

Toda a área circunscrita pela rampa rotativa encontra-se numa zona que segundo Pinheiro (1990) se caracteriza por possuir um modelado suave, com declives entre 2 e 4 % e que se estende para sul da Ribeira do Cabido entre as cotas 240 e 270 m.

A parcela regada pela rampa rotativa é atravessada pela Vala do Freixo, que apresenta diversos pontões de forma a permitir a passagem das torres móveis.

Realizou-se o levantamento topográfico da área sujeita ao estudo, e definiu-se dois raios (A e B) desde o pólo até à extremidade. Para os pontos de mais interesse apresentam-se as cotas obtidas: charca de alimentação (0 m); pólo (4,7 m); extremidade do raio A (0,9m); extremidade do raio B (1,75 m); ponto mais elevado (17,5 m);

### **3.1.4 Caracterização hidropedológica**

A área estudada encontra-se representada na Carta de Solos de Portugal n.º 36 - C e na Carta Complementar de Solos n.º 438.

Uma vez que a rampa rotativa beneficia mais do que um tipo de solos, houve a necessidade de seleccionar uma área ao longo da rampa onde somente se encontrasse solo pertencente ao grupo dos Solos Mediterrâneos Pardos Normais de Quartzodioritos (Pmg). Os solos Mediterrâneos Pardos são maioritários na Herdade do Cabido Grande ocupando cerca de 58 % da área total (Pinheiro, 1990).

Para a referida caracterização avaliaram-se os parâmetros mais importantes e de interesse para este estudo tais como: a profundidade dos horizontes, a textura do solo, a densidade aparente e os valores da retenção de água no solo.

Tendo por finalidade a recolha de tal informação, procedeu-se à abertura de três perfis de solo localizados na área anteriormente delimitada, e identificados como 1, 2, 3 do centro para a periferia. Os perfis foram abertos a uma profundidade de 1,2 metros, permitindo assim visualizar e recolher amostras de terra nos três horizontes. Em cada horizonte e à sua profundidade média foram recolhidas três amostras não perturbadas através da utilização de anéis metálicos de volume conhecido, para determinação da densidade aparente e dos valores de humidade-sucção do solo para sucções até 1500 kPa e uma amostra perturbada, para a determinação da humidade do solo sujeita a uma sucção de 1500 kPa, como se descreve mais à frente.

#### **3.1.4.1 Descrição do perfil**

A formação dos solos argiluvitados, tem como principal processo pedogenético a argiluviação e as suas principais características são a presença de um horizonte B tipo “textural” e um grau de saturação elevado, de que é responsável o clima pouco húmido em que

se situam. A capacidade de campo tem valores moderados ou elevados e a capacidade utilizável aparenta ser baixa no horizonte superficial e mediana nos inferiores. Não há pois que contar muito com eles em condições naturais, para o fornecimento de quantidades importantes de humidade (Cardoso, 1965).

Através da visualização de todos os perfis abertos, é de salientar a grande uniformidade em termos de cor -pardo acastanhado- de todos os horizontes. Em relação ao perfil descrito por Cardoso (1965), em anexo, os horizontes possuem uma profundidade média semelhante e apresentam suaves diferenças texturais, sendo a mais notória a presença de uma camada de pedras miúdas no perfil n.º 3, dentro do horizonte B.

No entanto, na generalidade existe uma concordância entre os perfis observados e os solos cartografados, tal como constatou Pinheiro (1990), e posteriormente Ramos (1992).



**Figura 7 - Perfil do solo (n.º 2)**

### 3.1.4.2 Análise textural

Por textura entende-se a proporção relativa, em um horizonte ou camada, de lotes constituídos por partículas minerais de dimensões compreendidas entre certos limites (Costa, 1991).

Partindo da amostra perturbada retirada em cada horizonte realizou-se no laboratório a análise mecânica ou análise granulométrica, que permite a determinação das proporções em que se encontram na terra fina (conjunto de partículas minerais < 2 mm) os diversos lotes ou fracções de partículas minerais. A areia grossa (2-0,2 mm) determinou-se por crivagem utilizando um crivo de 0,2 mm de diâmetro e a areia fina (0,2-0,02 mm) determinou-se por sedimentação e decantação. A determinação dos lotes de limo (0,02-0,002 mm) e de argila (< 0,002 mm) efectuou-se por pipetagem com pipeta de Robinson.

Os resultados da análise granulométrica expressam-se em percentagem do peso de cada lote em relação à terra fina a 105 °C e encontram-se representados no quadro seguinte conjuntamente com a classificação textural obtida para cada horizonte.

**Quadro 2 - Valores da análise granulométrica e classificação textural dos horizontes.**

Horiz.	Lote	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3
A 0 a 30 cm	Areia grossa	56	58	62
	Areia fina	26	29	25
	Limo	8	3	5
	Argila	10	10	8
	Clas.textural	Franco-Aren.	Franco-Aren.	Franco-Aren.
B 30 a 55 cm	Areia grossa	56	48	60
	Areia fina	27	17	23
	Limo	9	9	6
	Argila	8	26	11
	Clas. textural	Franco-Aren.	Fra.-Arg.-Are.	Franco-Aren.
C	Areia grossa	77	72	64
	Areia fina	15	12	19
	Limo	3	7	6
	Argila	5	9	11
	Clas.textural	Franco-Aren.	Franco-Aren.	Franco-Aren.

No horizonte A, a classificação textural está de acordo com Cardoso (1965), embora a percentagem de areia grossa seja um pouco elevada em detrimento da areia fina.

Para o horizonte B, somente o perfil 2 apresenta resultados de acordo com Cardoso (1965), enquanto que os outros perfis apresentam uma quantidade muito elevada de areia grossa e, argila em quantidades menores que as esperadas. Ramos (1992), para solos idênticos verificou quantidades de limo e argila inferiores às apresentadas por Cardoso (1965).

A desagregação de quartzodioritos é responsável pela elevada quantidade de areia grossa no horizonte C.

#### **3.1.4.3 Determinação da densidade aparente do solo**

A densidade aparente do solo é por definição a razão da massa da parte sólida de um dado volume aparente de solo e da massa de igual volume de água. É uma característica física do solo, frequentemente utilizada para o cálculo da porosidade do solo e pode servir para avaliar a estrutura do solo relacionando-a com a sua compactação.

A densidade aparente calcula-se por:  $P/V$  sendo P o peso seco da amostra e V o volume da amostra. Para esta determinação secou-se em estufa a 105 °C, até obter um peso constante, uma amostra não perturbada de cada horizonte colhida com anel metálico, a fim de eliminar toda a água.

**Quadro 3 – Valores da dap**

<b>Perfil</b>	<b>Horiz.</b>	<b>Dap</b>
1	A	1,7
	B	1,6
	C	1,8
2	A	1,8
	B	1,7
	C	1,9
3	A	1,8
	B	1,7
	C	1,8

A densidade aparente atinge valores superiores em todos os horizontes e em todos os perfis comparativamente com os valores apresentados por Cardoso (1965), segundo o qual o horizonte A apresenta valores de aproximadamente 1,5 e o B de cerca de 1,25. Os dados obtidos permitem concluir da existência de diminuição da dap do horizonte A para o B, embora esta diminuição seja menor do que a referida pelo autor anterior. Em solos com valor elevado de densidade aparente, a dificuldade que as plantas têm em enraizarem é devida à pequena dimensão dos poros, e não à falta de oxigénio (Portas, 1970). Aos valores de densidade aparente obtidos correspondem condições que segundo Costa (1991) impedem ou pelo menos dificultam o crescimento das raízes.

Cardoso (1992), em trabalho realizado na mesma exploração refere a existência de um elevado estado de compactação, embora em solos Pm. Bráz (1990) e Pinheiro (1990), publicam para o mesmo solo, valores bastante semelhantes aos apresentados.

Verifica-se a existência de alguma compactação, embora menor do que a referida por Ramos (1992), a que não será alheio o facto de toda a área ter sido sujeita a pastoreio durante a parte final do Outono, Inverno e parte inicial da Primavera.

#### **3.1.4.4 Parâmetros de humidades características do solo**

Os parâmetros que caracterizam a capacidade do solo para armazenar água são, segundo Benami e Ofen (1984): a capacidade de campo (C.C.), o coeficiente de emurchecimento (C.E.), a capacidade utilizável (C.U.) e a reserva facilmente utilizável (R.F.U.); e encontram-se descritos em anexo segundo o mesmo autor.

Para obtenção destes parâmetros determinou-se a % de água retida pelo solo quando sujeito a uma determinada sucção, expressa em % de solo seco na estufa. A escolha dos valores de sucção utilizados tem a ver com a correspondência que estes apresentam com

alguns parâmetros referidos anteriormente, nomeadamente entre 10 KPa e a C.C. e entre 1500 KPa e o C.E.. Os restantes valores têm como única intenção a determinação de pontos intermédios para traçar as curvas de tensão de humidade do solo.

Na determinação de todos os valores de sucção utilizaram-se, para cada horizonte, duas amostras não perturbadas, colhidas no campo em anéis de metal. Por um lado a crivagem afecta a estrutura natural e por outro as condições de compactação das amostras durante os ensaios de laboratório são diferentes das que se verificam nas condições naturais, o que pode causar, segundo Costa (1991), distorções na porção inferior da curva de pF, nitidamente dependente da macroestrutura.

Os valores compreendidos entre 1,0 KPa e 316 KPa foram determinados nos próprios anéis de recolha. Os valores compreendidos entre 1,0 KPa e 10,0 KPa (pF 2,0) foram obtidos utilizando a “caixa de areia” enquanto que os valores de 34,5 KPa; 100 KPa e 316 KPa foram obtidos utilizando a placa de pressão.

A determinação dos valores de 1500 KPa (pF 4,2) realizou-se no extractor de placa de cerâmica, após a passagem da amostra contida no anel de recolha para um anel de borraça de igual diâmetro mas de menor altura.

Os resultados apresentados no quadro seguinte, para cada horizonte e para todos os valores de sucção, resultam da média entre as duas amostras retiradas nesse horizonte por perfil, no conjunto dos três perfis (total de 6 valores), excluindo os valores que apresentavam um afastamento de duas vezes o desvio padrão.

**Quadro 4 - Valores da retenção da água no solo.**

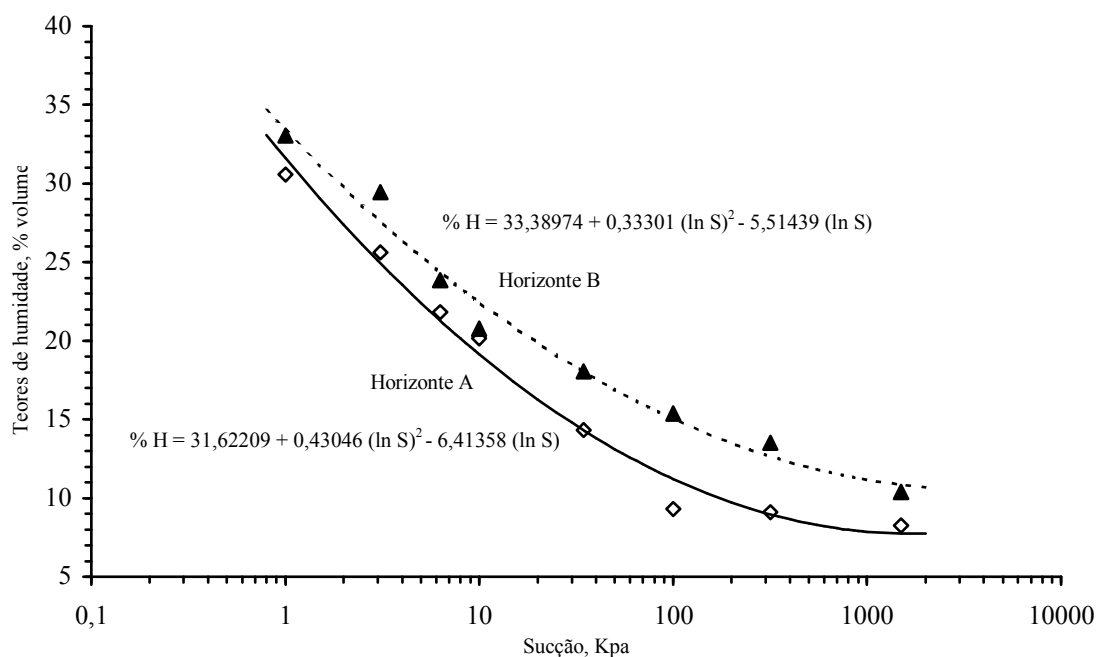
Prof. (cm)	C.C.	C.E.	Cap. utilizável	
	(pF 2,0)	(pF 4,2)	(% vol.)	(mm)
0-30	20,17	8,25	11,92	35,75
30-55	20,76	10,38	10,38	25,94



Tratando-se de solos argiluvitados seria de esperar segundo Cardoso (1965), uma capacidade utilizável mais elevada no Horizonte B, mas tal não se verificou.

Pinheiro (1990) e Santos (1992), em trabalho efectuado no mesmo solo e no mesmo local, apresentam valores de capacidade utilizável mais baixos, mas no entanto verificam também que o horizonte A apresenta capacidade utilizável superior ao horizonte B.

Utilizando todos os valores que foram determinados da retenção da água no solo, construíram-se as curvas de humidade-tensão ou curvas de pF (fig. 8).



**Figura 8 - Curvas da humidade-tensão do solo, para os horizontes A e B.**

## **3.2 Descrição do equipamento de rega e suas condições de funcionamento**

### **3.2.1 A rampa rotativa**

A presente rampa possui um comprimento total de 469 m, a que corresponde uma superfície regada de 71,4 ha. É composta por 9 lanços arqueados de 50 m cada e por um lanço suspenso de 19 m.

É uma máquina fixa, isodiamétrica, sendo os sucessivos tubos de 170 mm excepto o lanço suspenso que possui, em todo o seu comprimento, um diâmetro de 89 mm. Está equipada com aspersores estáticos equidistantes 3 m, em todo o seu comprimento, sendo o incremento de intensidade de aplicação garantido pelo aumento do diâmetro dos bicos dos aspersores que varia entre 1,01 mm para o mais próximo do pólo e 8,72 mm para o mais distante.

O mecanismo de propulsão é um motor eléctrico em cada torre, com 1 cv de potência e o movimento é transmitido às rodas através de um sistema de transmissão por cardan.

O quadro de comando é composto por vários avisadores luminosos, por um selector da velocidade de avanço, por um voltímetro, um amperímetro, um contador total de horas de rega e por dois botões que permitem seleccionar a direcção da marcha e a sua modalidade, isto é se a seco ou se a regar. É de referir a existência de um disjuntor diferencial como órgão de segurança. O selector de velocidades da máquina em causa apresenta uma velocidade máxima de 60 e uma mínima de 3, correspondendo ao número de minutos que a última torre se desloca durante um período de tempo de uma hora.

Possui um manómetro colocado no troço ascendente da conduta no pólo da rampa. A pressão necessária no pólo é de 3,5 Kgf/cm<sup>2</sup> e a pressão prevista no último aspersor é de 1,5 Kgf/cm<sup>2</sup>. Na extremidade distal da rampa existe um canhão de pequena dimensão, o que permite aumentar um pouco a área regada.

### 3.2.2 O sistema de bombagem

A água para a rampa provém de uma charca, a 400 m do pólo, que representa um pequeno reservatório e que por sua vez é abastecida ou pela própria barragem da exploração ou pela Barragem do Divor.

A bombagem da água faz-se através de um grupo motor/bomba constituído por um motor eléctrico de 100 HP, directamente acoplado a uma bomba EFACEC tipo NJ 150-400, cuja curva característica se encontra em anexo. A bomba apresenta um manómetro que permite medir a sua pressão de funcionamento. Tanto a conduta de aspiração como a de elevação apresentam um diâmetro de 200 mm.

Uma vez que não foi possível efectuar a medição do caudal de entrada com um caudalímetro, procedeu-se à sua estimativa recorrendo à aplicação do Teorema de Bernoulli (Quintela, 1993) entre a bomba e o pólo da rampa rotativa.

Da aplicação do teorema entre os dois locais obtém-se que:

$$Z_b + \frac{P_b}{\gamma} + \frac{U_b^2}{2g} - Z_p - \frac{P_p}{\gamma} - \frac{U_p^2}{2g} = J \times L + \Delta H_L \quad (3.1)$$

sendo: Z - cota geométrica (m);

P - pressão (N/m<sup>2</sup>);

$\gamma$  - peso volúmico da água (N/m<sup>3</sup>);

U - velocidade (m/s);

g - aceleração da gravidade (m/s<sup>2</sup>);

J - perda de carga unitária (m/m);

L - comprimento da conduta (m);

$\Delta H_L$  - perdas de carga localizadas (m);

e os subíndices b - bomba e p - pólo.

Para determinar a perda de carga unitária utilizou-se a fórmula de Hazen-Williams, que se traduz pela seguinte expressão:

$$J = 1,21 \times 10^{10} (Q/Cw)^{1,852} Di^{-4,87} \quad (3.2)$$

sendo: Q - caudal (l/s);

Di - diâmetro interno da conduta (mm);

Cw - coeficiente de Hazen-Williams (alumínio = 130).

As perdas de carga localizadas determinaram-se pela sua fórmula geral:

$$\Delta H_L = K \frac{U^2}{2g} \quad (3.3)$$

sendo K um coeficiente característico de cada singularidade, e cujos valores podem ser encontrados em Quintela (1993).

Introduzindo na equação (3.1) os valores das perdas de carga, das cotas, das pressões de funcionamento e colocando a velocidade em função do caudal ( $U = Q/A$ ), a única incógnita fica a ser precisamente o caudal que pode ser calculado.

### **3.2.3 O sistema de fertirrigação**

Este equipamento é composto por um depósito de construção vertical, em fibra de vidro, de 10 000 l, para armazenamento do adubo líquido e a respectiva bomba doseadora, accionada por um pequeno motor eléctrico, com débito regulável até 200 l/h à pressão de 10 Kgf/cm<sup>2</sup>.

### **3.2.4 Condições de funcionamento do equipamento de rega**

Relativamente às condições de funcionamento da rampa, apresentam-se no quadro seguinte, os valores de velocidade real para a última torre, obtidos por divisão do espaço

percorrido pelo período de tempo necessário para tal. Esta informação, permitiu calcular o tempo necessário para a realização de uma volta completa, bem como a área regada por hora de funcionamento da rampa. Uma vez que a bomba doseadora debita um determinado caudal (l/h), torna-se necessário saber qual a área regada por unidade de tempo para cada velocidade seleccionada (ha/h), por forma a conseguir a dosificação pretendida (l/ha), aquando da fertirrigação e dos tratamentos fitossanitários. Apresenta ainda a dotação aplicada para as diferentes velocidades de avanço da máquina.

**Quadro 5 - Dados auxiliares para a regulação e funcionamento da máquina.**

Velocid. selec.	Vel.real 9ª torre	Tempo por volta	Área por hora	Dotação aplicada
(unid.)	(m/s)	(h)	(ha/h)	(mm)
3	0,00225	348,970	0,205	-
10	0,00500	157,200	0,454	-
15	0,00755	104,030	0,686	-
20	0,00818	96,010	0,744	-
25	0,01111	70,699	1,010	27,9
30	0,01375	57,140	1,250	22,6
35	0,01625	48,343	1,477	19,9
40	0,01823	43,072	1,658	17,7
45	0,02083	37,709	1,894	15,5
50	0,02439	32,208	2,217	13,2
55	0,02581	30,436	2,347	12,5
60	0,02901	27,078	2,638	11,1

Uma das características do sistema é a evolução da **intensidade máxima de precipitação dos aspersores (dm), ao longo da rampa**, que segundo Walker (1980), se determina por:

$$dm \text{ (mm/h)} = \frac{2 v D}{\pi a} \quad (3.4)$$

sendo: v - velocidade da rampa (m/h);

D - dotação aplicada (mm);

a - raio de alcance do aspersor (m).

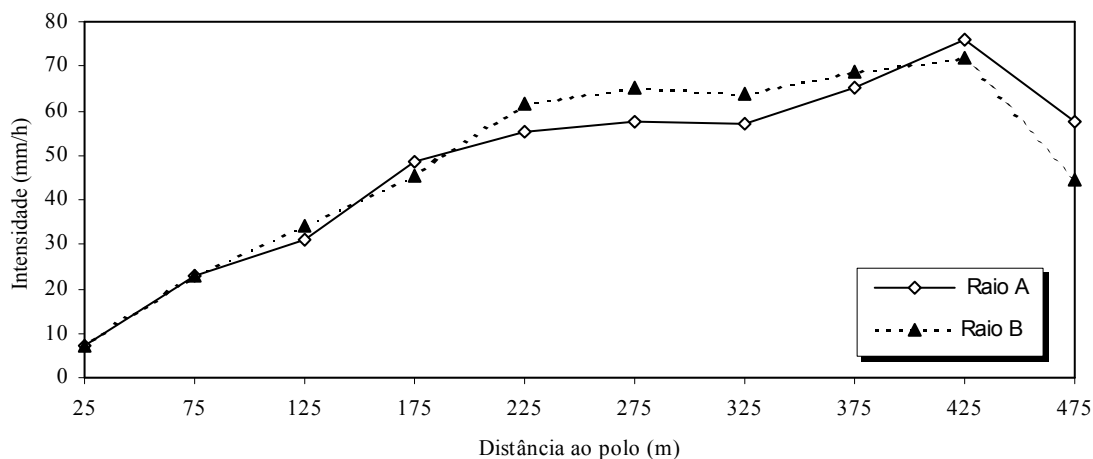
A dotação aplicada foi determinada individualmente para cada lança, enquanto que a velocidade da rampa e o raio de alcance foram determinados especificamente para o aspersor no centro do lança.

Uma outra característica da rampa é a **evolução da intensidade de precipitação ao longo do tempo, num dado ponto**, e que permite a realização de um diagrama pluviométrico, que para o caso dos aspersores estáticos, toma a forma de um M (Heermann, 1990). Efectuou-se a medição da precipitação utilizando um recipiente colocado num ponto, e com a rampa a mover-se a uma determinada velocidade. Recolheu-se a precipitação em períodos de tempo de um minuto que foram sendo registados, durante todo o tempo em que ocorreu precipitação. Os milímetros de água recolhida em cada minuto de recepção permitem conhecer a intensidade de precipitação.

O integral da curva de aplicação de água, é uma área que representa a dotação de rega, no ponto considerado (Luz, 1991).

Quando a intensidade de precipitação excede a taxa de infiltração de água no perfil do solo, temos decerto problemas de escoamento superficial. Por forma a verificar a ocorrência do referido fenómeno existe a necessidade de quantificar também a precipitação.

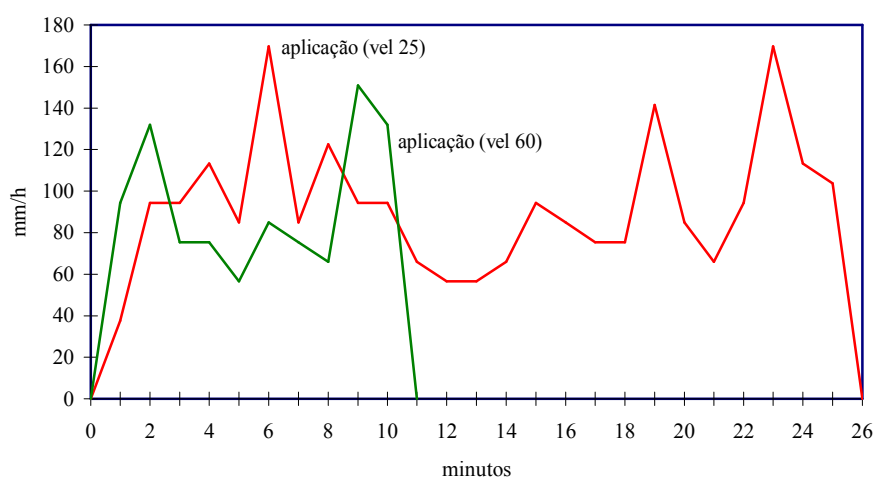
A intensidade máxima de precipitação dos aspersores, ao longo da rampa, deve atingir o valor máximo na sua extremidade distal. A figura 9, mostra que neste caso, o máximo se verifica um pouco antes da extremidade, confirmando o défice pluviométrico da parte terminal, obtido nos testes de uniformidade.



**Figura 9 - Intensidade de precipitação máxima ao longo da rampa.**

No 9º lanço, mais concretamente aos 425 m ou seja no ponto em que a intensidade máxima de precipitação dos aspersores atingiu o valor mais elevado realizou-se a medição da evolução da intensidade de precipitação ao longo do tempo, num dado ponto.

Na figura 10 encontram-se representados os diagramas pluviométricos, para as duas velocidades extremas utilizadas ao longo deste ensaio (25 e 60). A intensidade de precipitação não é constante e a sua evolução pode ser aproximada graficamente por uma curva em forma de M, que se apresenta tanto mais nítida quanto menor o tempo de aplicação de água sobre um ponto.



**Figura 10 - Curvas de intensidade de precipitação (velocidade da rampa 25 e 60)**

### **3.3 Descrição da cultura e respectivas operações culturais**

A cultura realizada foi o milho (*Zea mays L.*), que é a cultura que ocupa maior área regada por rampas rotativas em Portugal (Luz, 1991). O ciclo vegetativo da variedade utilizada é de 110 dias, correspondente à classe FAO 500.

A preparação do solo iniciou-se em princípios de Maio, com a realização de uma lavoura. Como adubação de fundo aplicou-se, com um distribuidor centrífugo, 400 Kg/ha do adubo 10 - 10 - 20 - 3Mgo - 18SO<sub>3</sub> - 0,1B - 0,1Cu - 0,1Zn + Bio.

Dia 12 de Maio realizou-se uma gradagem com a grade de discos para incorporar o adubo e preparar a cama da semente. No dia seguinte iniciou-se a sementeira que se realizou com um semeador monogrão de precisão, pneumático, de 4 linhas. O povoamento foi aproximadamente 80 000 plantas por ha, com um intervalo entre linhas de 0,75 m.

Poucos dias depois ocorreu precipitação considerável, o que provocou a formação de crosta superficial e consequente dificuldade de germinação. Tal facto tornou necessária a ressementeira em algumas partes do campo.

No dia 18 de Junho realizou-se a monda química e posteriormente em 16 de Julho efectuou-se uma sacha com incorporação simultânea de 200 Kg/ha de Ureia.

A colheita efectuou-se no dia 1 de Outubro, com uma gadanheira automotriz, tendo por finalidade a realização de silagem.

### **3.4 Cálculo das necessidades hídricas da cultura**

As necessidades hídricas da cultura representam a quantidade de água necessária para repor no solo a água perdida por evapotranspiração de uma cultura sã, cultivada em



áreas extensas e sem limitações, a qual poderá atingir uma produção máxima para as condições do meio, segundo Doorenbos e Pruitt (1977) citados por Oliveira (1993).

A compreensão dos cálculos realizados exige a presença de alguns conceitos:

- Evapotranspiração: é um processo pelo qual a água do solo é transferida para a atmosfera, quer por evaporação na superfície do solo quer passando através das plantas e evaporando-se na superfície das folhas (transpiração);

- Evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>): é a evapotranspiração medida em determinadas culturas (recomenda-se relva ou luzerna), bem abastecidas de água, em crescimento activo e cobrindo completamente o terreno;

- Evapotranspiração cultural (ET<sub>c</sub>): representa a evapotranspiração que se verifica numa determinada cultura, num dado instante do seu desenvolvimento.

Doorenbos e Kassam (1986), consideram um factor determinado empiricamente, para cada cultura e estágio de desenvolvimento, que designam por coeficiente cultural, (K<sub>c</sub>), e que relaciona a ET<sub>c</sub> com a ET<sub>o</sub>:

$$ET_c = K_c \times ET_o \quad (3.5)$$

Para o cálculo das necessidades hídricas seguiu-se o método da FAO (Doorenbos e Kassam, 1986), utilizado pelo programa “Cropwat” (Smith, 1991).

Este programa permite o cálculo das necessidades hídricas da cultura com base nos dados meteorológicos anteriormente apresentados, ou seja nos valores médios mensais verificados no período 1964-1991 e também com base apenas nos valores médios mensais do ano de realização do ensaio. Utiliza uma versão simplificada da fórmula de Penman-Monteith para o cálculo da evapotranspiração de referência, considerando apenas valores médios da humidade relativa e temperatura, em vez de valores máximos e mínimos, o que pode originar diferenças significativas nos valores calculados, em situações onde os valores extremos se afastem bastante da média. Utiliza também diversos parâmetros da cultura para

o cálculo das necessidades hídricas tais como: a profundidade radical máxima e os parâmetros apresentados no quadro 6.

**Quadro 6 - Valores utilizados para os diferentes coeficientes, segundo tabelas de Doorenbos e Kassam (1986).**

Coeficiente considerado	Estádio do ciclo vegetativo			
	Inicial	Crescimento	Intermédio	Final
Kc	0,4	»	1,1	0,6
p	0,6	»	0,5	0,8
Ky	0,4	0,4	1,3	0,5

- O parâmetro p representa a percentagem da C.U. correspondente à reserva facilmente utilizável (R.F.U.). Depende do valor de ETc e da cultura em questão e, permite conhecer o valor do ponto crítico de rega (Luz, 1991).

- O parâmetro Ky representa o coeficiente de resposta do rendimento à deficiência hídrica, que é tanto maior quanto maior for a redução do rendimento máximo devido ao factor limitante água. Geralmente as variedades mais produtivas são também as mais sensíveis na sua resposta à água. A sensibilidade à deficiência hídrica varia com o estado de desenvolvimento da cultura (Serralheiro, 1985).

Em alternativa, considerando-se que o défice de água se distribui igualmente ao longo do ciclo, utiliza-se o valor constante de Ky igual a 1,25 (Doorenbos e Kassam, 1986).

Foram também determinadas as necessidades hídricas diárias do milho utilizando os dados meteorológicos de 1996 e a fórmula completa de Penman-Monteith (Allen, 1994) para o cálculo diário dos valores de ETo. Este cálculo tem por base os valores climáticos verificados dia a dia e que são recolhidos na estação meteorológica que se encontra colocada na própria exploração. Com a temperatura média, a temperatura mínima, a temperatura máxima, a humidade relativa do ar máxima e mínima, a radiação líquida, o vento e a preci-

pitação de cada dia do ensaio, calcula-se a evapotranspiração de referência, que depois é submetida aos mesmos coeficientes culturais utilizados no programa “Cropwat”.

Para o cálculo das necessidades de rega tem que se considerar a precipitação ocorrida, e dentro desta somente apresenta interesse a precipitação efectiva.

Por precipitação efectiva entende-se a fracção da precipitação que efectivamente se infiltra no solo, ficando à disposição das plantas para satisfação das suas necessidades. Neste caso como as precipitações nos meses de Verão são reduzidas, considerou-se em todas as determinações que a precipitação efectiva corresponde a 90 % da precipitação total.

Comparando os resultados obtidos pelo programa “Cropwat” (anexo III) e sintetizados no quadro 7 verifica-se que, em relação ao ano médio, o ano do ensaio apresenta uma redução mínima da ETc total e uma redução um pouco mais significativa das necessidades totais de rega, o que se deve essencialmente à maior precipitação ocorrida durante Maio e Setembro.

**Quadro 7 - Necessidades de rega da cultura de acordo com os métodos utilizados.**

Mês	Dec.	"CROPWAT" média 28 anos			"CROPWAT" ano 96			PENMAN - MONT. ano 96		
		ETc	P. efect.	Nec.rega	ETc	P. efect.	Nec.rega	ETc	P. efect.	Nec.rega
		mm/dec.	mm/dec.	mm/dec.	mm/dec.	mm/dec.	mm/dec.	mm/dec.	mm/dec.	mm/dec.
Mai.	2	10,8	6,7	4,1	9,9	23,4	0,0	8,5	23,9	0,0
Mai.	3	16,7	8,5	8,2	16,7	22,6	0,0	18,4	1,4	16,9
Jun.	1	18,7	7,4	11,3	20,4	9,0	11,4	17,4	2,3	15,1
Jun.	2	25,2	6,3	18,9	29,6	0,0	29,6	23,7	0,0	23,7
Jun.	3	36,0	4,9	31,1	40,8	0,0	40,8	35,8	0,0	35,8
Jul.	1	48,4	3,4	45,0	52,7	0,5	52,2	42,2	1,5	40,7
Jul.	2	59,6	2,0	57,6	63,4	0,8	62,7	51,9	0,0	51,9
Jul.	3	61,1	1,9	59,2	62,4	2,1	60,3	47,7	0,7	47,0
Ago.	1	59,8	1,8	58,1	57,8	3,5	54,2	42,0	12,3	29,7
Ago.	2	59,0	1,7	57,3	53,8	4,9	48,9	42,1	0,0	42,1
Ago.	3	52,5	3,3	49,2	47,7	7,5	40,3	43,2	1,4	41,7
Set.	1	42,5	5,0	37,6	38,7	11,3	27,4	34,7	17,4	17,4
Set.	2	31,8	6,6	25,2	28,5	14,6	14,0	21,9	13,1	8,8
Set.	3	22,3	11,1	11,2	20,6	9,7	10,9	15,9	7,2	8,7
Total (mm) =		544,4	70,5	473,9	543,0	109,8	452,5	445,6	81,5	379,5

Relativamente ao ano de 1996, a comparação entre os resultados do programa “Cropwat” e a utilização da fórmula de Penman-Monteith sem simplificações, permite concluir que através do “Cropwat” se obtêm valores de evapotranspiração cultural total significativamente superiores. Ao longo de todo o ciclo cultural o “Cropwat” conduz a maiores valores de  $ET_c$ , com excepção do 3º decêndio de Maio.

Verifica-se também que a precipitação efectiva para o ano do ensaio é diferente consoante o método, o que se deve unicamente ao facto de o “Cropwat” partir da precipitação média mensal e automaticamente a ajustar para o primeiro e terceiro decêndio através de uma interpolação com os valores dos meses anterior e seguinte respectivamente.

Ainda no que se refere às necessidades totais de rega, verifica-se que na totalidade o “Cropwat” apresenta cerca de 70 mm a mais, dos quais 24,5 ocorrem somente no 1º decêndio de Agosto.

### 3.5 Avaliação do sistema

Na rega por aspersão, um ensaio de avaliação consiste basicamente em colocar uma rede de pluviómetros no campo, e medir as principais variáveis que intervêm no processo de rega como sejam: a pressão de serviço, o tempo de rega, o volume de água recolhido em cada pluviómetro e a quantidade de água armazenada até à profundidade radical da cultura.

Os parâmetros de avaliação são a uniformidade e a eficiência. Para avaliação da uniformidade utiliza-se o **Coefficiente de uniformidade (C.U.)** (equação 2.1) e a **Uniformidade de distribuição (U.D.)** (equação 2.2).

Para a avaliação da eficiência, utiliza-se a **Eficiência potencial de aplicação (E.P.A.)** (equação 2.3) e a **Eficiência de aplicação (E.A.)** (equação 2.4).

No entanto para determinação da E.P.A, temos de determinar a altura média de água aplicada por volta (h), que se traduz por:

$$h \text{ (mm/volta)} = \frac{Q \times t_v}{S} \quad (3.6)$$

em que:  $t_v$  - número de horas por volta;

$Q$  - caudal (l/h);

$S$  - área molhada ( $m^2$ ).

Para determinação da E.A. o valor médio da altura da água infiltrada e armazenada na zona radical corresponde à variação do armazenamento,  $\Delta S$ , que se verifica durante uma rega na zona radical. Sendo assim:

$$\Delta S = AS_f - AS_i + ETc \quad (3.7)$$

em que:  $AS_i$  - armazenamento de água do solo, 24 horas antes da rega;

$AS_f$  - armazenamento de água do solo, 24 horas após a realização da rega;

$ETc$  - evapotranspiração cultural, entre as duas determinações do armazenamento.

O armazenamento de água de um solo,  $AS$ , é definido como a quantidade de água contida no seu perfil entre duas cotas definidas, normalmente pela superfície e por uma profundidade  $Z$ , fixada neste caso como a profundidade máxima de enraizamento. Esta profundidade foi acompanhada ao longo do ciclo cultural através da utilização de uma Sonda de Meia Cana, realizando-se três medições antes de cada rega até a cultura atingir a profundidade radical máxima (55 cm).

Na prática, as determinações do teor de humidade são descontínuas, determinadas camada a camada, pelo que o armazenamento é dado pelo somatório do produto do teor de humidade dessa camada pela sua espessura:

$$AS = \sum ( \theta_z \cdot h_z ) \quad (3.8)$$

onde:  $\theta_z$  - humidade de cada camada ( $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ );

$h_z$  - espessura da camada (mm).

### **3.5.1 Recolha dos dados de campo**

A obtenção dos dados para a determinação dos parâmetros de avaliação acima referidos exigiu a realização de várias tarefas ao longo deste processo. Na área previamente delimitada marcaram-se dois raios afastados de 50 m na extremidade, como recomendado nas normas da ASAE (1995). Para recolher a dotação aplicada pela rampa colocaram-se no solo, recipientes equidistantes 9 m ao longo dos dois raios, ficando cada raio com 52 recipientes.

A partir do momento em que a cultura atingiu uma altura capaz de influenciar a recolha da precipitação dos aspersores, os recipientes anteriormente colocados foram retirados e optou-se pela sua colocação unicamente no raio B e somente no 2º, 4º, 6º e 8º lanços e no lanço suspenso, afastados 9 m com excepção do lanço suspenso em que o afastamento foi de 4,5 m. Colocaram-se 5 recipientes em cada um dos lanços referidos, totalizando 25 recipientes, que foram apoiados em suportes telescópicos, permitindo uma perfeita adaptação ao crescimento das plantas.

Os recipientes utilizados possuíam uma altura de 10 cm e um diâmetro de 9 cm, por forma a evitar o efeito do salpico, satisfazendo assim as exigências da ASAE (1995).



**Figura 11 - Realização da 1ª rega onde se visualiza a distribuição dos recipientes.**

Em algumas regas colocaram-se 4 recipientes no solo, formando um quadrado em redor do recipiente apoiado no suporte telescópico a 1,5 m de altura, tendo como finalidade retirar uma noção da diferença entre o valor da água recolhida no solo e ao nível da folhagem das plantas. Esta diferença deve-se ao efeito da sobreposição do leque dos aspersores e também à intercepção da água pelas plantas impedindo que esta atinja a superfície do solo.

Para acompanhar a evolução do teor de água no solo e elaborar os perfis hídricos utilizou-se uma Sonda Capacitiva. Este processo requer a instalação de tubos no solo, para acesso da sonda a diferentes profundidades.

No raio B, onde posteriormente foram colocados os recipientes em suportes telescópicos, e nos mesmos lanços, isto é, 2º, 4º, 6º, 8º e lanço suspenso, foram instalados tubos de acesso, num total de 5. Dias mais tarde, instalou-se um outro tubo de acesso no 7º lanço, pois o tubo do 6º lanço somente atingiu 70 cm de profundidade devido ao horizonte C se encontrar bastante compactado. Os tubos foram instalados ao meio dos referidos lanços, isto é aos 75, 175, 225, 275, 375 e 467 m do pólo, passando a identificar-se como estação I, II, III, IV, V e VI respectivamente. Os tubos utilizados são de PVC, com diâmetro externo

de 50 mm e 2,5 mm de espessura, fechados na extremidade inferior com uma rolha de borracha e foram colocados a uma profundidade de 90 cm, ficando 10 cm acima da superfície do solo, com excepção do referido tubo 3.

Por forma a acompanhar a evolução do teor de humidade, as leituras com a sonda foram efectuadas sempre 24 horas antes da rega, 24 horas após a rega e sempre que possível efectuaram-se também leituras 48 horas após a rega e ainda n horas após a rega. Estas leituras realizaram-se em todas as estações e foram obtidos valores de 10 em 10 cm, até aos 70 cm de profundidade, excepto na estação III em que as leituras foram somente até aos 50 cm.

### **3.5.1.1 Calibração da Sonda Capacitiva**

Embora o fabricante forneça uma curva de calibração, utilizável para todos os tipos de solo, convém que se realize uma específica para cada tipo de solo, devido essencialmente à diferença na densidade aparente dos mesmos. Também Santos (1995), defendeu a necessidade de elaboração de uma curva de calibração para cada tipo de solo.

A calibração da Sonda Capacitiva consiste no estabelecimento de uma relação entre as leituras realizadas por este aparelho e a humidade volúmica do solo. Trata-se de um processo moroso, que deve ser realizado com o solo com diferentes teores de água. Por vezes quando o solo apresenta horizontes bem distintos e com bastante quantidade de resíduos vegetais torna-se necessária a realização de uma curva de calibração para cada horizonte.

A calibração foi realizada por relação entre o teor volumétrico da água no solo e as respectivas leituras relativas ou “Frequência universal”, (UF), sendo:

$$UF = \frac{L_{ar}^{7,692} - L_{solo}^{7,692}}{L_{ar}^{7,692} - L_{água}^{7,692}} \quad (3.9)$$

em que  $L_{ar}$  e  $L_{água}$  são respectivamente as leituras no ar e na água.



A curva de calibração da Sonda Capacitiva também se pode efectuar por relação directa das leituras no solo e os teores de humidade volumétrica,  $\theta$  ( $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ ). Cruz (1987) e posteriormente Ramos (1992), verificaram que as curvas de calibração obtidas pelos diferentes métodos não apresentavam diferenças significativas, pelo que neste trabalho apenas se realizou a calibração pelo processo descrito inicialmente, que à partida será aquele que permitirá comparar com mais rigor leituras realizadas em diferentes ocasiões.

A calibração realizou-se em simultâneo com a instalação dos tubos de acesso da sonda. A amostra de calibração é formada por duas componentes: o material retirado no processo de perfuração e o material removido em seguida, quando se realiza a limpeza do tubo. Das amostras de solo assim obtidas, foram recolhidas as retiradas às seguintes profundidade: 8 a 12; 20 a 24; 32 a 36; 44 a 48; 56 a 60; 68 a 72 cm; ou seja foram recolhidas uma sim e duas não. A recolha realizou-se de forma rápida e precisa para pesa filtros previamente identificados com o número do tubo e profundidade correspondente, sendo depois guardados em local fresco até chegarem ao laboratório para determinação da humidade por via gravimétrica. A fórmula utilizada para esta determinação foi a seguinte:

$$\theta = \frac{P_s - P_s'}{P_s' - T} \quad (3.10)$$

em que:  $\theta$  - teor em água ( $\text{gr} \cdot \text{gr}^{-1}$ );

$P_s$  - peso do solo húmido + tara do pesa filtros (gr);

$P_s'$  - peso do solo seco a  $105^\circ\text{C}$  + tara do pesa filtros (gr);

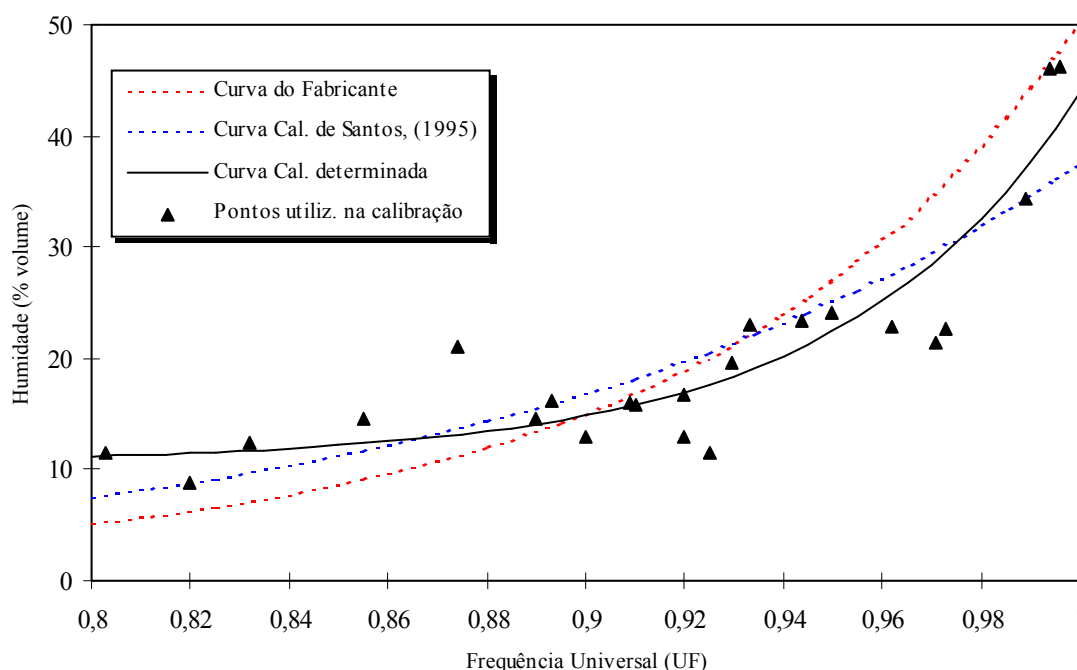
$T$  - tara do pesa filtros (gr).

Imediatamente após a recolha de todas as amostras de solo realizaram-se as leituras com a Sonda Capacitiva às profundidades de 10, 22, 34, 46, 58, 70 cm respectivamente.

Através da utilização dos valores da densidade aparente anteriormente determinados, foi possível converter os teores de água em % de volume.

A constante dielétrica e a porosidade irão alterar-se com a profundidade devido a mudanças na estrutura do solo, o que poderá causar uma pequena distorção na “Curva de Calibração Universal”, mas este efeito dificilmente ultrapassa, segundo o fabricante, os 2 % no seu conteúdo em água. Por este motivo não foram determinadas curvas de calibração para cada horizonte.

Na figura 12, que se encontra na página seguinte, está representada a curva de calibração determinada para este solo que relaciona o teor de água,  $\theta$ , com a “Frequência Universal”, UF, a curva de calibração proposta pelo fabricante e ainda a determinada por Santos (1995).



**Figura 12 - Calibração da Sonda Capacitiva, para o perfil (10-70 cm).**

A exponencialidade da curva de calibração determinada neste ensaio, está de acordo com o apresentado pelo seu fabricante e traduz-se pela seguinte equação:

$$\theta = 10,706 + 3,071 \cdot 10^{-8} \cdot e^{(UF/0,0481)} \quad (3.11)$$

A regressão têm um coeficiente de correlação elevado ( $r = 0,92$ ) que demonstra a validade e o rigor deste processo, tal como a boa adequação do equipamento utilizado para as determinações da água no solo.

A curva obtida, bem como a apresentada para o mesmo solo por Santos (1995), demonstra uma menor amplitude em relação à do fabricante, ou seja, para valores de humidade do solo muito baixos esta equação traduz-se por valores relativamente mais altos e para valores de humidade do solo altos traduz-se por valores relativamente mais baixos que os obtidos pelo fabricante, embora superiores aos obtidos por Santos (1995). Para os restantes valores de humidade, apesar de existirem diferenças, não são muito significativas.

### 3.6 Ensaio de infiltração

O objectivo da realização de testes de infiltração é obter uma equação representativa da infiltrabilidade do solo.

Realizaram-se três testes de infiltração com um infiltrómetro por aspersão (figura 13), construído no Departamento de Engenharia Rural da Universidade de Évora e de acordo com as especificações de Reinders e Louw (1984). Antes de cada teste retiravam-se três amostras da camada superficial do solo para determinar o seu teor de água.

A bomba utilizada no infiltrómetro permitiu que com uma pressão de  $0,8 \text{ Kgf/cm}^2$  se atingisse um débito no aspersor de  $0,48 \text{ m}^3/\text{h}$ , sendo estas as condições de funcionamento

durante a realização de todos os testes.

Em cada teste, foram colocados no solo três recipientes afastados de 2,5; 3,0; e 3,5 m do aparelho. Estes recipientes possuíam 10,5 cm de diâmetro e 8 cm de altura. Em cada recipiente registou-se:

- o volume recolhido até ao instante em que na sua área envolvente começou a surgir acumulação superficial, ao qual corresponde uma altura de água infiltrada, e
- o tempo decorrido desde o início da precipitação.

Dividindo a altura de água recolhida (que é igual à infiltrada) pelo tempo correspondente, determinou-se a taxa de infiltração para cada local. Utilizando os três pares de valores (tempo-taxa de infiltração) obtidos em cada teste, foi possível determinar, através de um tratamento por regressão uma curva que pretende representar a infiltrabilidade do solo.

Na figura 13 pode observar-se a realização de um teste de infiltração, onde se visualiza todo o equipamento necessário e se define de uma forma um pouco irregular a área “triangular” sujeita a precipitação.



**Figura 13 - Realização de um teste de infiltração.**

A realização de três testes de infiltração tornou possível a determinação de três curvas da infiltrabilidade do solo, representadas matematicamente pelas seguintes equações:

$$\text{- 1º teste} \rightarrow i \text{ (mm/h)} = 90,07 t^{-0,5577} \quad (3.12)$$

$$\text{- 2º teste} \rightarrow i \text{ (mm/h)} = 91,656 t^{-0,56} \quad (3.13)$$

$$\text{- 3º teste} \rightarrow i \text{ (mm/h)} = 235,44 t^{-0,8968} \quad (3.14)$$

em que  $i$ , representa a infiltrabilidade do solo (mm/h) e  $t$ , o tempo de infiltração em minutos.

---

## CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E SUA DISCUSSÃO

---

### 4.1 Análise da qualidade das regas

Quanto aos resultados dos parâmetros utilizados para avaliação da qualidade das regas, eles encontram-se sintetizados no quadro seguinte.

**Quadro 8 - Resultados dos parâmetros de avaliação das regas.**

Nº rega	Dotação média recolhida (mm)	C.U. (%)	U.D. (%)	Altura média aplicada (mm)	E.P.A (%)	E.A. (%)
1ª (raio A)	14,4	80,2	44,5	17,7	36,2	*
1ª (raio B)	15,3	76,9	59,5	17,7	51,3	48,9
2ª (raio A)	25,4	84,8	72,4	27,9	65,9	*
2ª (raio B)	26,5	83,5	67,8	27,9	64,4	45,7
3ª	24,2	81,3	65,8	27,9	57,0	43,0
4ª	15,2	67,4	57,9	19,1	46,1	58,3
5ª	16,8	78,6	68,4	22,6	51,0	78,0
6ª	18,6	78,3	66,2	23,5	52,4	*
7ª	16,7	81,6	69,6	19,9	58,5	83,4
8ª	14,6	76,5	63,5	17,7	52,3	48,0
10ª	13,2	83,7	76,1	15,5	64,8	50,9
12ª	11,8	78,9	70,0	13,2	62,7	56,0
14ª	10,4	81,4	69,5	12,5	57,7	59,1
17ª	9,9	71,7	61,1	11,1	54,1	65,1

\* Impossibilidade de realizar leituras com a Sonda Capacitiva

A análise destes resultados, sua discussão e complementarização realizaram-se agrupando por um lado os parâmetros relacionados com a uniformidade e por outro os parâmetros relacionados com a eficiência, facilitando assim a sua exposição e compreensão.

#### 4.1.1 Dotações aplicadas e recolhidas

Seguidamente apresenta-se uma listagem completa de todas as regas realizadas e respectivas dotações aplicadas e recolhidas. Nas regas em que não foi possível recolher a precipitação considerou-se uma dotação recolhida e aplicada igual à anterior rega realizada com a mesma velocidade.

**Quadro 9 - Calendarização e quantificação das regas realizadas ao longo do ensaio.**

Nº rega	Data de realização	Velocidade da rampa	Dotação recolhida (mm)	Dotação aplicada (mm)
1	13-6	40	15,3	17,7
2	25-6	25	26,5	27,9
3	2-7	25	24,2	27,9
4	9-7	35	15,2	19,1
5	15-7	30	16,8	22,6
6	19-7	30	18,6	23,5
7	25-7	35	16,7	19,9
8	29-7	40	14,6	17,7
9	1-8	40	14,6	17,7
10	5-8	45	13,2	15,5
11	8-8	45	13,2	15,5
12	12-8	50	11,8	13,2
13	15-8	50	11,8	13,2
14	19-8	55	10,4	12,5
15	22-8	50	11,8	13,2
16	26-8	50	11,8	13,2
17	29-8	60	9,9	11,1
18	1-9	45	13,2	15,5
19	5-9	60	9,9	11,1
20	8-9	45	13,2	15,5
21	15-9	45	13,2	15,5
<b>Total (mm) =</b>			<b>305,9</b>	<b>359</b>

No quadro 10 apresentam-se os caudais estimados a partir dos valores de pressão verificados na bomba e no pólo e as perdas de carga entre este trajecto.

**Quadro 10 - Valores de pressão no sistema e caudal estimados.**

Nº da rega	Pressão bomba	Pressão polo	P <sup>as</sup> carga totais	Caudal (Q)	P.fim 1º lanço	P.fim 5º lanço	P. fim 7º lanço	P. fim 9º lanço
	Kgf/cm <sup>2</sup>	Kgf/cm <sup>2</sup>	m	m <sup>3</sup> /h	Kgf/cm <sup>2</sup>	Kgf/cm <sup>2</sup>	Kgf/cm <sup>2</sup>	Kgf/cm <sup>2</sup>
1ª	5,4	3,4	14,3	293,5				
2ª	5,5	3,6	13,3	282,2				
3ª	5,5	3,6	13,3	282,2				
4ª	5,5	3,6	13,3	282,2				
5ª	5,5	3,6	13,3	282,2	2,8	2,0	1,2	1,4
6ª	5,4	3,4	14,3	293,5	2,7	1,8	1,1	0,8
7ª	5,4	3,4	14,3	293,5	2,7	1,8	1,2	1,3
8ª	5,4	3,4	14,3	293,5	2,7	1,8	1,2	1,3
10ª	5,3	3,3	14,3	293,5	2,6	1,8	1,2	1,3
12ª	5,2	3,2	14,3	293,5	2,4	1,8	1,2	1,3
14ª	5,2	3,2	14,3	293,5	2,3	1,8	1,1	1,3
17ª	5,2	3,2	14,3	293,5				

O quadro anterior apresenta também os valores de pressão obtidos em alguns pontos, verificando-se a esperada diminuição ao longo da rampa, excepto para o fim do 9º lanço ou seja início do lanço suspenso, pois o manómetro estava colocado imediatamente antes do estreitamento de diâmetro que conduz ao lanço suspenso, o que provoca um aumento de pressão junto desta singularidade. As pressões observadas ao longo da rampa são menores que as indicadas pelo fabricante.

#### **4.1.2 Uniformidade das regas**

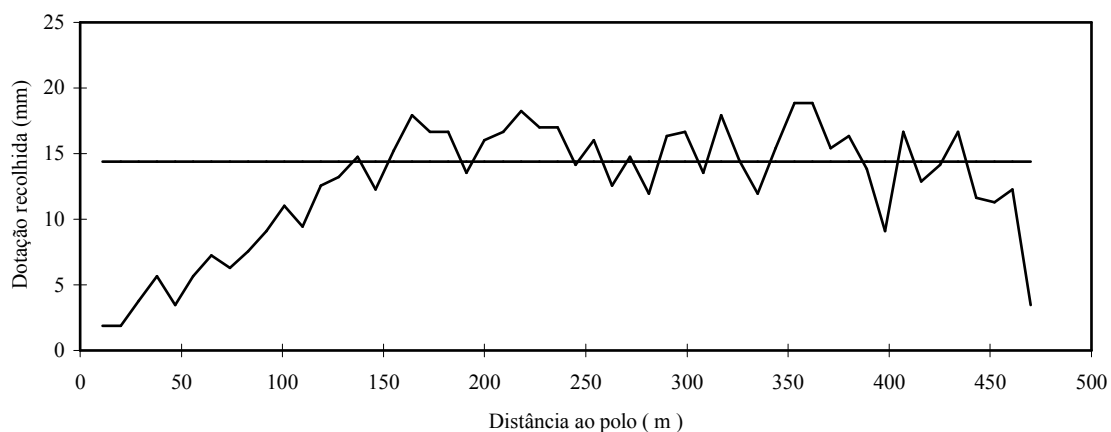
Quanto aos resultados dos parâmetros que caracterizam a uniformidade das regas, eles encontram-se sintetizados no quadro 11.

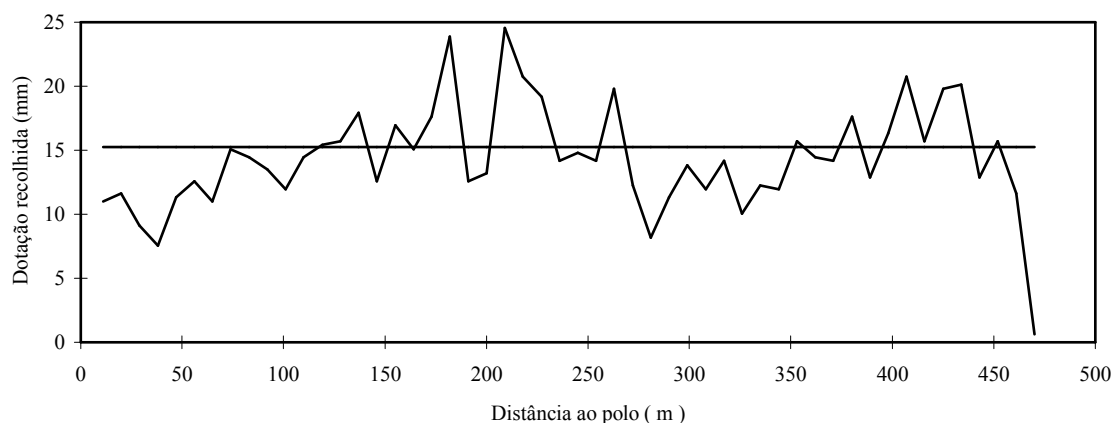


**Quadro 11 - Resultados de uniformidade das regas.**

Nº rega	Dotação média recolhida (mm)	C.U. (%)	U.D. (%)
1ª (raio A)	14,4	80,2	44,5
1ª (raio B)	15,3	76,9	59,5
2ª (raio A)	25,4	84,8	72,4
2ª (raio B)	26,5	83,5	67,8
3ª	24,2	81,3	65,8
4ª	15,2	67,4	57,9
5ª	16,8	78,6	68,4
6ª	18,6	78,3	66,2
7ª	16,7	81,6	69,6
8ª	14,6	76,5	63,5
10ª	13,2	83,7	76,1
12ª	11,8	78,9	70,0
14ª	10,4	81,4	69,5
17ª	9,9	71,7	61,1

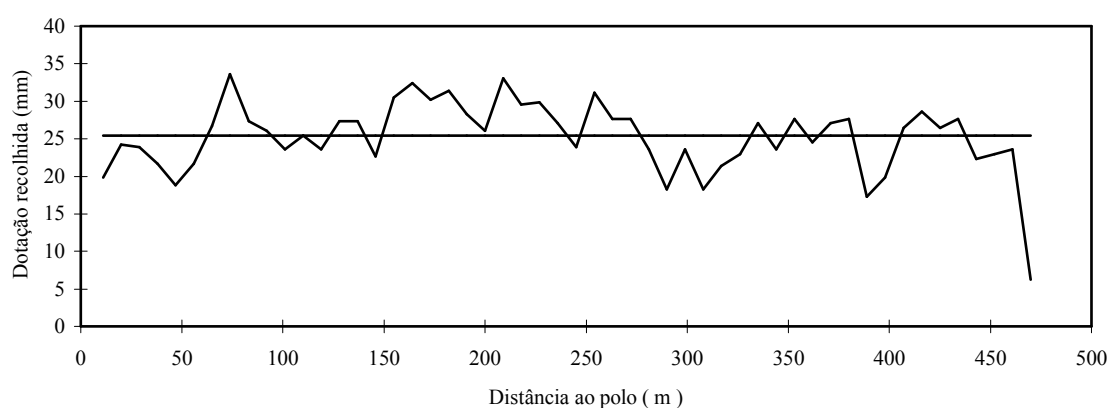
Nas figuras 14 a 17, apresentadas seguidamente, pode-se observar a distribuição pluviométrica da rampa ao longo dos dois diferentes raios, para as duas primeiras regas. Na 1ª rega os principais desvios em relação à média ocorreram junto ao pólo e na extremidade distal da rampa. Junto ao pólo isso é devido, em parte, à presença de vento (2 m/s) pois os recipientes encontram-se durante mais tempo sob precipitação, logo a sua influência tem aqui um maior peso. Quanto à extremidade distal, em todas as regas se verificou um défice pluviométrico.

**Figura 14 - Diagrama de uniformidade, obtido na 1ª rega, no raio A.**

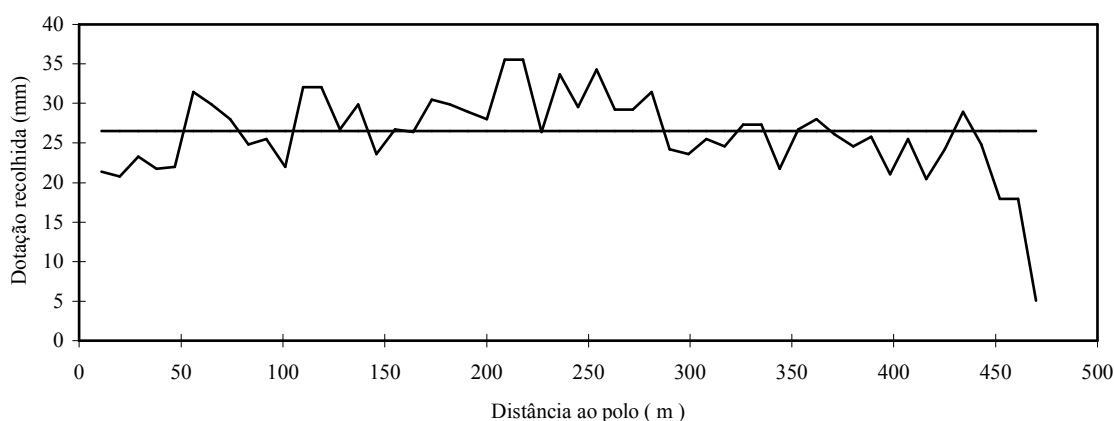


**Figura 15 - Diagrama de uniformidade, obtido na 1ª rega, no raio B.**

Na 2ª rega (fig. 16 e 17), verifica-se que não existem desvios acentuados na parte inicial, o que pode ser explicado pela ocorrência de menos vento. Constata-se simultaneamente uma maior uniformidade ao longo da rampa, a que não será alheio o facto da sua velocidade de deslocamento ser menor.



**Figura 16 - Diagrama de uniformidade, obtido na 2ª rega, no raio A.**



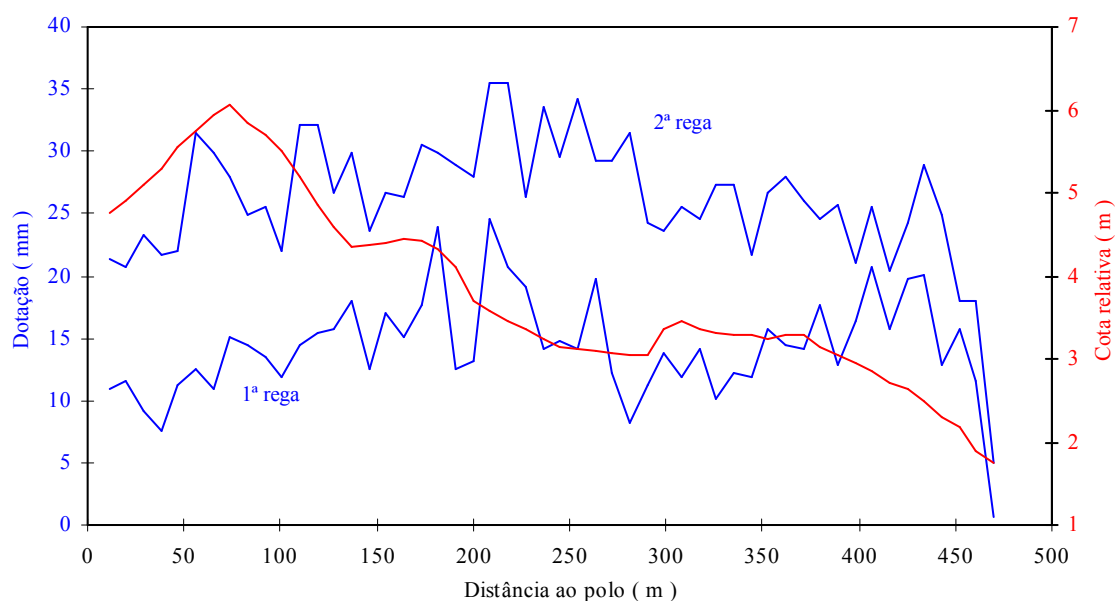
**Figura 17 - Diagrama de uniformidade, obtido na 2ª rega, no raio B.**

A maioria dos valores do coeficiente de uniformidade obtidos são aceitáveis ou bons, para sistemas de aspersão móvel, excepto o valor inferior a 70 % obtido na 4ª rega. Segundo Luz (1991), valores de C.U. entre 70 e 80 % correspondem a uniformidade aceitável e somente valores superiores a 80 % são classificados como bons. Keller e Bliesner (1990), para este equipamento, indicam valores de coeficiente de uniformidade entre 70 a 86 %.

Quanto à uniformidade de distribuição, os reduzidos valores obtidos (quadro 11), permitem concluir que a uniformidade desta rampa está dependente de um número restrito de pontos, que recebem reduzida precipitação em relação ao pretendido. Verifica-se que em algumas regas os menores valores ocorrem na parte inicial da rampa, mas é preferencialmente na parte final da máquina que se verificam os reduzidos volumes recolhidos, como se pode verificar nos diagramas anteriormente apresentados.

Em 80 % das regas analisadas, constatou-se que os dois recipientes menos preenchidos foram os que estavam mais afastados do pólo. No conjunto dos 25 % de recipientes que menos recolhem em todas as regas, verifica-se que 32 % dos recipientes deste conjunto se encontram no lança suspenso.

Com o objectivo de avaliar o funcionamento dos reguladores de pressão instalados nos aspersores, estudou-se uma possível relação entre a irregularidade da pluviometria ao longo da rampa e o perfil topográfico do terreno.



**Figura 18 - Representação simultânea do perfil topográfico do raio B e das dotações recolhidas ao longo desse mesmo raio.**

Verifica-se que alguns picos pluviométricos se situam em zonas de descida mais acentuada da cota relativa, por exemplo aos 210 m e aos 430 m, o que por si só é natural, mas indica um deficiente funcionamento de alguns reguladores de pressão incapazes de controlar o aumento de pressão de água verificado. Existem no entanto outros locais onde esta tendência é contrariada, nomeadamente próximo dos 70 m e dos 310 m, pelo que este assunto merece uma maior dedicação, não se dispondo no presente estudo de dados suficientes para retirar conclusões definitivas.

### 4.1.3 Eficiência das regas

No quadro 12 apresentam-se os valores obtidos para os parâmetros que caracterizam a eficiência das regas.

**Quadro 12 - Resultados da eficiência das regas.**

Nº rega	Dotação média recolhida (mm)	Alt.méd. apl.(mm)	E.P.A (%)	E.A. (%)
1ª (raio A)	14,4	17,7	36,2	*
1ª (raio B)	15,3	17,7	51,3	48,9
2ª (raio A)	25,4	27,9	65,9	*
2ª (raio B)	26,5	27,9	64,4	45,7
3ª	24,2	27,9	57,0	43,0
4ª	15,2	19,1	46,1	58,3
5ª	16,8	22,6	51,0	78,0
6ª	18,6	23,5	52,4	*
7ª	16,7	19,9	58,5	83,4
8ª	14,6	17,7	52,3	48,0
10ª	13,2	15,5	64,8	50,9
12ª	11,8	13,2	62,7	56,0
14ª	10,4	12,5	57,7	59,1
17ª	9,9	11,1	54,1	65,1

\* Impossibilidade de realizar leituras com a Sonda Capacitiva

As baixas eficiências potenciais de aplicação (E.P.A.) verificadas neste estudo, resultam do facto de a diferença entre a quantidade média aplicada e a quantidade média recolhida apresentar valores muito elevados, ou seja as perdas por evaporação e arrastamento do vento, apresentarem valores muito elevados. Hermann e Kohl (1980) indicam como limite de perdas os 6 %, Keller e Bliesner (1990) indicam valores entre 5 a 10 %, Martin-Benito (1995) indica como valor máximo os 5 % e neste trabalho verificaram-se valores entre 5 % (2ª rega) e cerca de 20 % (3 e 5ª rega), conduzindo forçosamente a quebras na eficiência potencial de aplicação.

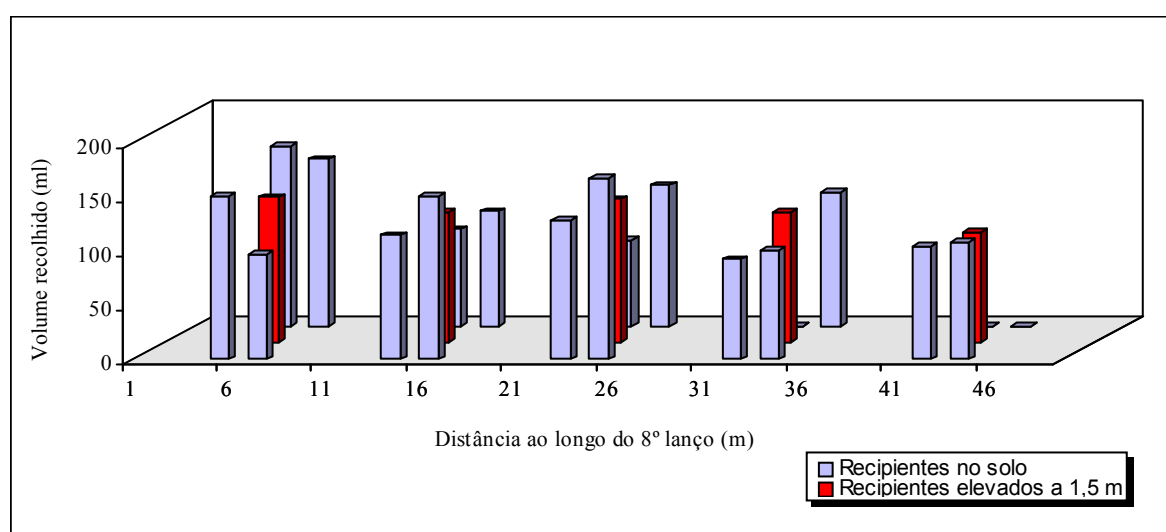
Relativamente à eficiência de aplicação (E.A.) os valores obtidos são na generalidade baixos, com excepção da 5ª rega (78,0 %) e da 7ª rega (83,4 %) onde se atingiram valores bons para este sistema de rega. Luz (1993) apresenta valores de eficiência de rega

superiores, entre 80 % de dia e 95 % de noite.

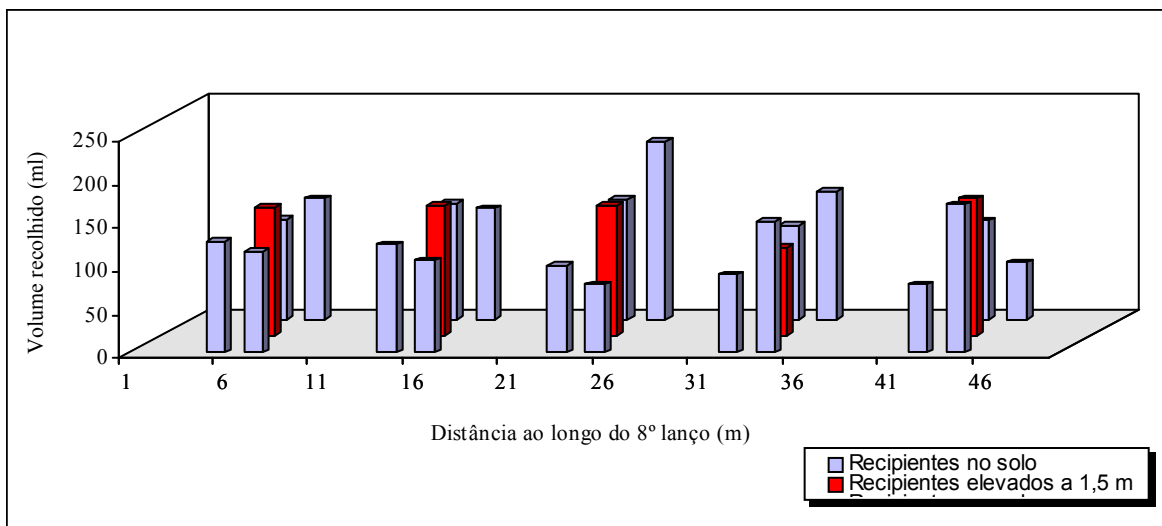
No entanto o processo de cálculo deste último parâmetro merece duas considerações: parte da água aplicada é interceptada pelas folhas das plantas, diminuindo a quantidade infiltrada e também porque 24 horas após a rega parece ser demasiado tempo antes das leituras destinadas a quantificar a altura infiltrada e armazenada, diminuindo o rigor de todo o processo.

Embora os dois parâmetros de avaliação referidos anteriormente apresentem ambos valores reduzidos não se verifica entre eles nenhuma dependência pois resultam de métodos de cálculo distintos. Convém referir, também, que a altura média aplicada, divisor no cálculo da E.P.A. e da E.A., foi calculada a partir do caudal estimado e como tal os valores de eficiência calculados são menos rigorosos do que seriam se tivesse sido possível medir efectivamente o caudal.

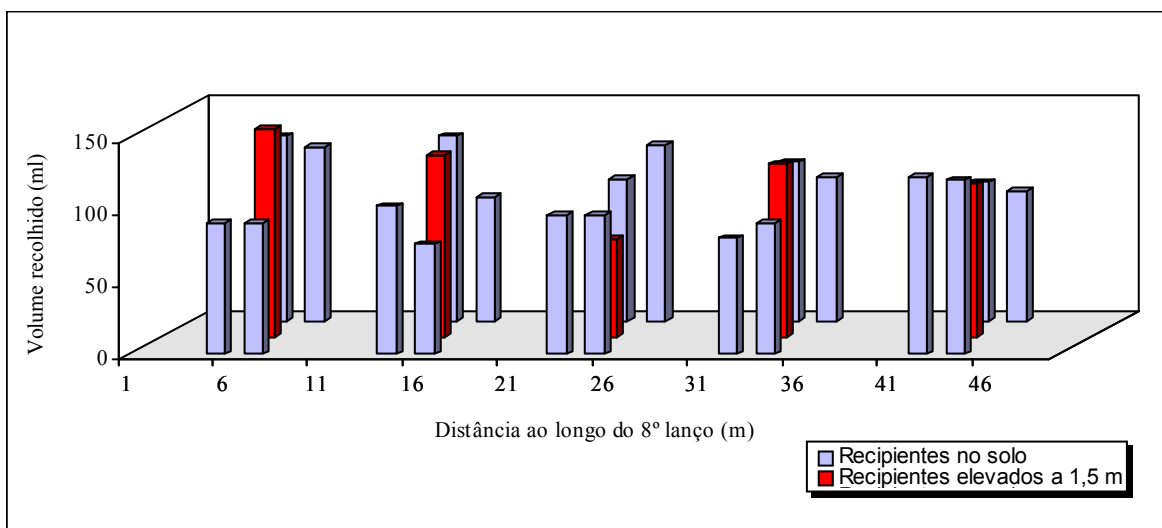
Nas figuras seguintes apresentam-se os resultados dos testes feitos em algumas regas, com o objectivo de obter uma noção da diferença de valores recolhidos em função da altura a que se encontra o recipiente, devido ao efeito da sobreposição do leque dos aspersores e da intercepção da água pelas plantas de acordo com a metodologia apresentada no ponto 3.



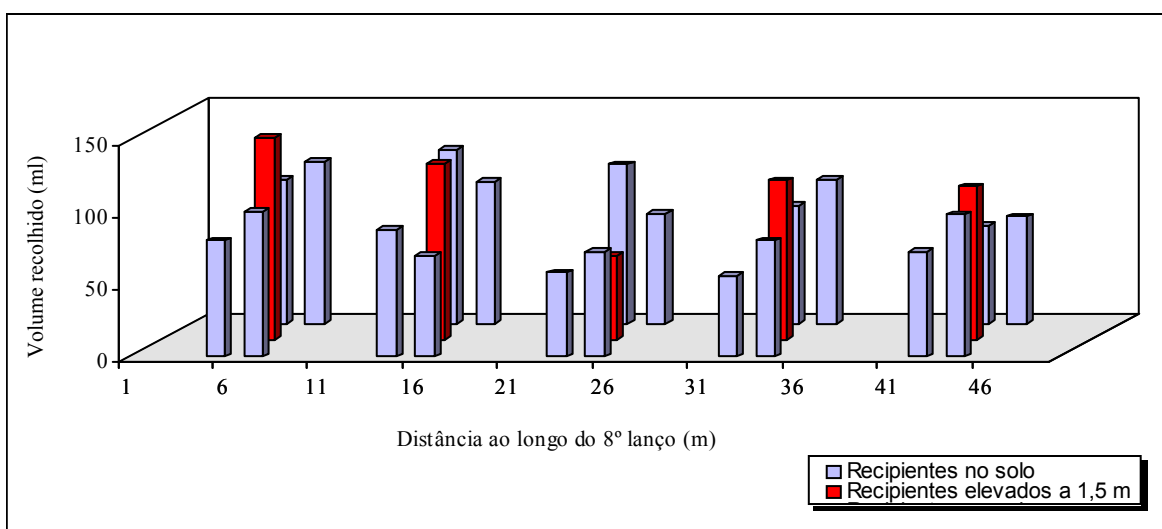
**Figura 19 - Água recolhida ao nível da folhagem e à superfície do solo, na 5ª rega.**



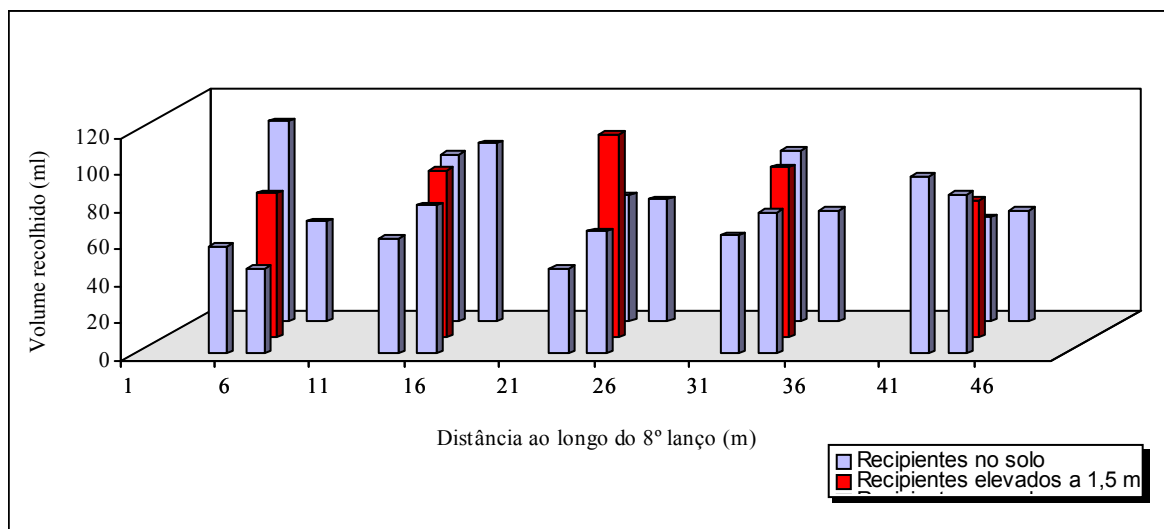
**Figura 20 - Água recolhida ao nível da folhagem e à superfície do solo, na 6ª rega.**



**Figura 21 - Água recolhida ao nível da folhagem e à superfície do solo, na 7ª rega.**



**Figura 22 - Água recolhida ao nível da folhagem e à superfície do solo, na 8ª rega.**



**Figura 23 - Água recolhida ao nível da folhagem e à superfície do solo, na 10ª rega.**

Na 8ª rega verificou-se que no solo se recolhia menos 20 % de água em relação ao recolhido ao nível da folhagem das plantas, mas no total das cinco regas em que se realizou este teste (fig. 19 a fig. 23) verificou-se que esta diferença toma um valor médio de 13,1 %.

A análise dos resultados de todos estes testes permitiu concluir que em 72 % dos casos se obtém valores superiores nos recipientes colocados a 1,5 m de altura e nos restantes 24 % os recipientes do solo apresentam volumes superiores. Dentro dos valores superiores obtidos no solo, a diferença máxima situou-se nos 51 % em relação aos volumes recolhidos nos recipientes telescópicos. Nos casos em que se recolheu volumes inferiores no solo, a diferença máxima foi de 44 % em relação aos volumes dos recipientes elevados. Verificou-se também ao longo de todos os testes, que a posição que o recipiente elevado ocupa dentro do leque de água formado pelo aspersor, conduz só por si, a uma variação dos resultados.

O efeito da folhagem do milho é um factor que introduz elevada variabilidade na



água recolhida nos recipientes colocados no solo. As folhas do milho interceptam grande parte da água aplicada, impedindo, por um lado, que esta chegue aos recipientes, e por outro podem fazer com que parte da água interceptada acabe por cair nalgum recipiente mais abaixo, alterando a quantidade de água recolhida.

Esta análise, que à partida poderia parecer desnecessária, já que era expectável que a água recolhida no solo apresentasse valores diferentes da recolhida no topo da cultura, por outro lado permite verificar que a diferença desses valores nem sempre é negativa, existindo situações em que determinados pontos do solo receberam mais água do que aquela que é recolhida no topo da cultura. Isso pode ser importante para explicar porque é que nalguns pontos do terreno o teor de água no solo medido é superior a outros, que teoricamente teriam recebido a mesma quantidade de água.

#### **4.1.3.1 Quantidade de água aplicada e necessidades de rega estimadas**

No sentido de validar a quantidade de água aplicada, seguidamente apresenta-se uma simulação da programação de rega realizada com o programa “cropwat”, utilizando os dados meteorológicos recolhidos ao longo do ensaio e considerando que o solo se encontrava à capacidade de campo na fase inicial da cultura, pois após a sementeira verificou-se elevada precipitação. Esta simulação foi ajustada de acordo com este sistema de rega, pelo que se optou por uma eficiência de aplicação de 80 % e se escolheu uma dotação fixa o mais próxima possível do ideal para a situação em estudo e de acordo com o adiante apresentado no ponto 4.4 relativamente ao dimensionamento do sistema.

PROGRAMACION DEL RIEGO							MILHO-SILAGEM		13 mayo			
Estación meteo. : Divor							Archivo de clima		:			
Cultivo : MILHO-SILAGEM							Fecha de siembra		: 13 mayo			
Suelo : Pmg							Humedad disp. suelo:		112 mm/m.			
							Humedad inicial suelo		: 112 mm/m.			
Opciones de riego seleccionadas:												
Frecuencias: Riego con 100% de agotamiento humedad del suelo disponible												
aplicaciones : Dosis fija de riego de 12.5 mm												
Eficiencia de aplicación en el campo: 80 %												
No. Rieg.	Int. días	Fecha	Etap	Agot. %	TX %	ETA %	Dos Net mm	Déficit mm	Pérd. mm	Dos brut mm	Caudal l/s/ha	
1	9	22 may	A	33	100	100	12.5	0.0	4.9	15.6	0.20	
2	10	2 jun	A	30	100	100	12.5	0.0	3.4	15.6	0.18	
3	9	11 jun	B	33	100	100	12.5	0.0	0.4	15.6	0.20	
4	5	16 jun	B	37	100	100	12.5	2.3	0.0	15.6	0.36	
5	5	21 jun	B	42	100	100	12.5	5.7	0.0	15.6	0.36	
6	3	24 jun	B	39	100	100	12.5	5.4	0.0	15.6	0.60	
7	4	28 jun	B	45	100	100	12.5	9.2	0.0	15.6	0.45	
8	3	1 jul	B	44	100	100	12.5	10.2	0.0	15.6	0.60	
9	3	4 jul	B	48	100	100	12.5	13.2	0.0	15.6	0.60	
10	3	7 jul	B	53	100	100	12.5	16.5	0.0	15.6	0.60	
11	2	9 jul	B	47	100	100	12.5	14.3	0.0	15.6	0.90	
12	3	12 jul	B	55	100	100	12.5	19.7	0.0	15.6	0.60	
13	2	14 jul	B	53	100	100	12.5	19.5	0.0	15.6	0.90	
14	2	16 jul	B	52	100	100	12.5	19.7	0.0	15.6	0.90	
15	2	18 jul	C	52	100	100	12.5	19.5	0.0	15.6	0.90	
16	2	20 jul	C	52	100	100	12.5	19.6	0.0	15.6	0.90	
17	2	22 jul	C	52	100	100	12.5	19.6	0.0	15.6	0.90	
18	2	24 jul	C	50	100	100	12.5	18.4	0.0	15.6	0.90	
19	2	26 jul	C	50	100	100	12.5	18.4	0.0	15.6	0.90	
20	3	29 jul	C	58	100	100	12.5	23.5	0.0	15.6	0.60	
21	2	1 ago	C	58	100	100	12.5	23.0	0.0	15.6	0.90	
22	2	3 ago	C	56	100	100	12.5	22.1	0.0	15.6	0.90	
23	2	5 ago	C	51	100	100	12.5	19.2	0.0	15.6	0.90	
24	3	8 ago	C	56	100	100	12.5	22.1	0.0	15.6	0.60	
25	2	10 ago	C	55	100	100	12.5	21.1	0.0	15.6	0.90	
26	2	12 ago	C	52	100	100	12.5	19.4	0.0	15.6	0.90	
27	3	15 ago	C	53	100	100	12.5	20.3	0.0	15.6	0.60	
28	2	17 ago	C	50	100	100	12.5	18.6	0.0	15.6	0.90	
29	3	20 ago	C	52	100	100	12.5	19.5	0.0	15.6	0.60	
30	3	23 ago	C	55	100	100	12.5	21.3	0.0	15.6	0.60	
31	3	26 ago	C	51	100	100	12.5	19.0	0.0	15.6	0.60	
32	4	1 sep	D	55	100	100	12.5	21.4	0.0	15.6	0.45	
33	3	3 sep	D	54	100	100	12.5	20.6	0.0	15.6	0.60	
34	8	11 sep	D	62	100	100	12.5	25.6	0.0	15.6	0.23	
35	12	23 sep	D	67	100	100	12.5	29.0	0.0	15.6	0.15	
FIN	8	1 oct	D	53	100	100						
Riego total bruto							546.9 mm	Total precipitaciones		132		
Riego total neto							437.5 mm	Precipitación efectiva		81.		
Pérdidas totales de riego							8.7 mm	Pérdida total de precipitación		50.		
Deficit de humedad a la cosecha								32.7 mm				
Abastecimiento neto + retención del suelo								470.2 mm				
Uso real de agua del cultivo							543.0 mm	Neces. reales de riego		461.5 mm		
Uso poten. de agua del cultivo							543.0 mm					
Eficiencia prog. de riego							98.0 %	Eficiencia precipitación		61.6 %		
Deficiencia prog. de riego							0.0 %					
No reducciones del rendimiento para los déficit del agua												

Quadro 13 - Simulação da programação de rega utilizando o "Cropwat".

A simulação anterior permitiu uma eficiência da programação de rega de 98 %, não ocorrendo qualquer redução no rendimento da cultura, o que atesta da validade desta simulação. Comparando as dotações das regas realizadas (quadro 9) com a simulação apresentada anteriormente (quadro 13) constata-se que:

- na prática começou-se a regar 20 dias após o indicado pela simulação e também se terminou mais cedo;

- a quantidade total aplicada (359 mm) foi bastante menor que o total de rega a aplicar indicado pela simulação (546,9 mm). Durante todo o ciclo vegetativo a quantidade aplicada foi sempre inferior à indicada pela simulação (com excepção do primeiro decêndio de Setembro), mas verifica-se que esta diferença foi diminuindo com o decorrer do tempo, o que indica que para o fim do ensaio se estava a caminhar para a situação ideal.

- o n.º de regas realizado (21) é bastante inferior ao indicado na simulação (35). Este facto pode-se explicar, um pouco, pela dotação reduzida utilizada em todas as regas na simulação realizada, mas em grande parte, traduz sim, o n.º reduzido de regas efectivamente realizado e que levou, na globalidade, a um défice hídrico considerável.

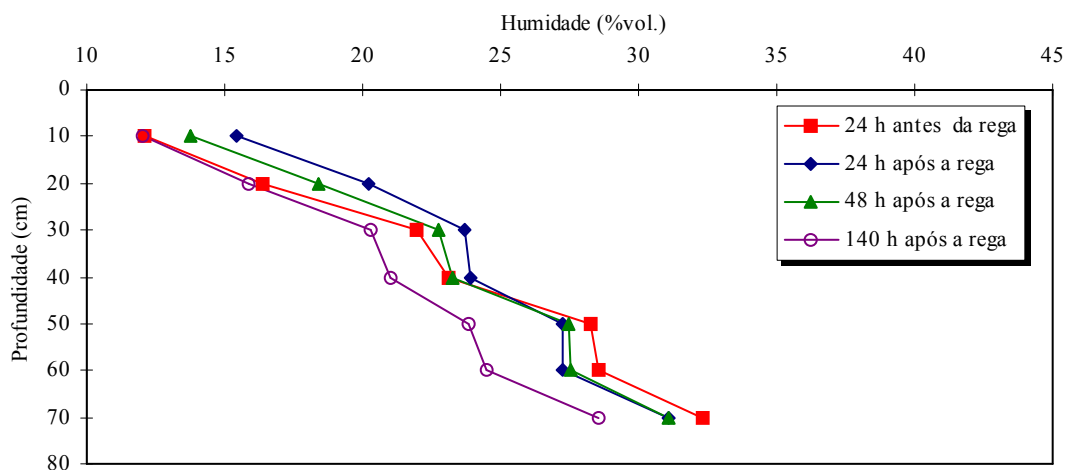
#### **4.1.4 Evolução da água no solo**

##### **4.1.4.1 Perfis de humidade do solo**

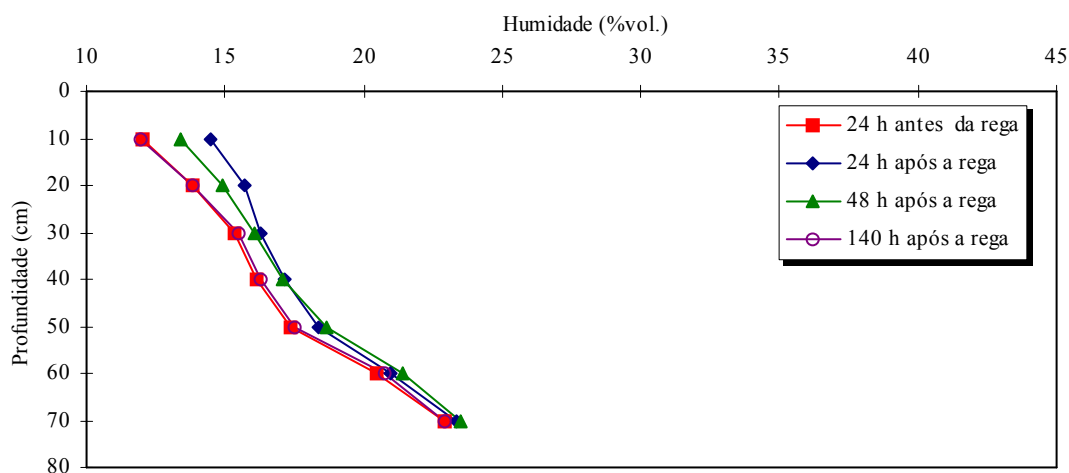
Com a realização dos perfis hídricos do solo pretende-se acompanhar o movimento da água no solo e quantificar quais as alterações produzidas no teor de água às várias profundidades. Apresentam-se os perfis obtidos nas diversas estações, para três regas realizadas a velocidades diferentes e consequentemente dotações diferentes. Os valores dos

teores de água do solo que permitiram a realização destes perfis, bem como os restantes valores das outras regas analisadas e respectivos perfis encontram-se no anexo IV.

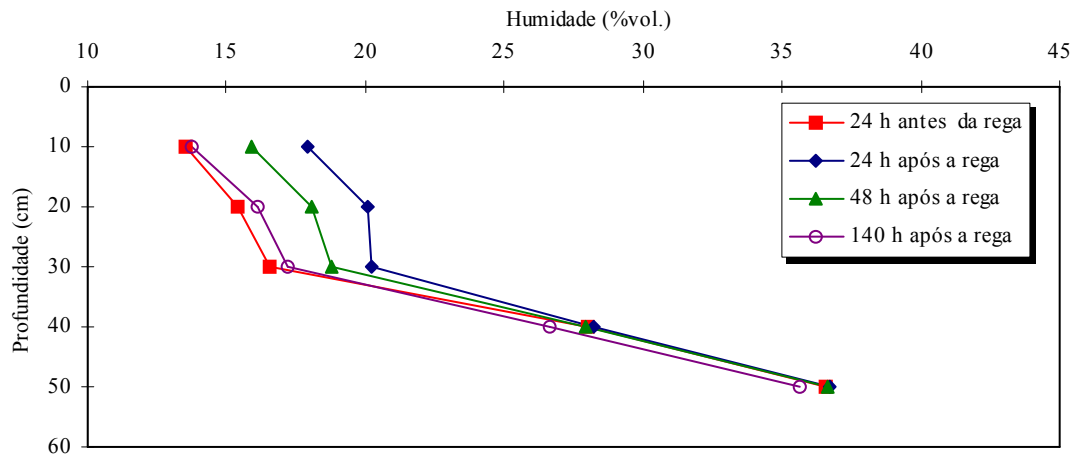
As figuras 24 a 28 representam os perfis de humidade do solo para a 3ª rega, quando as raízes atingiam os 40 cm, efectuada com velocidade 25 e dotação recolhida de 24,2 mm.



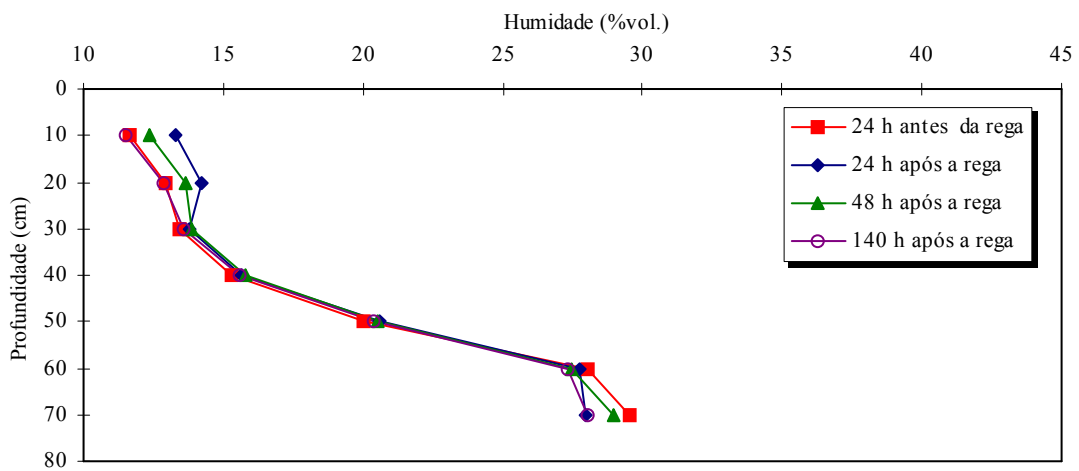
**Figura 24 - Perfil de humidade, antes e após a 3ª rega, estação I.**



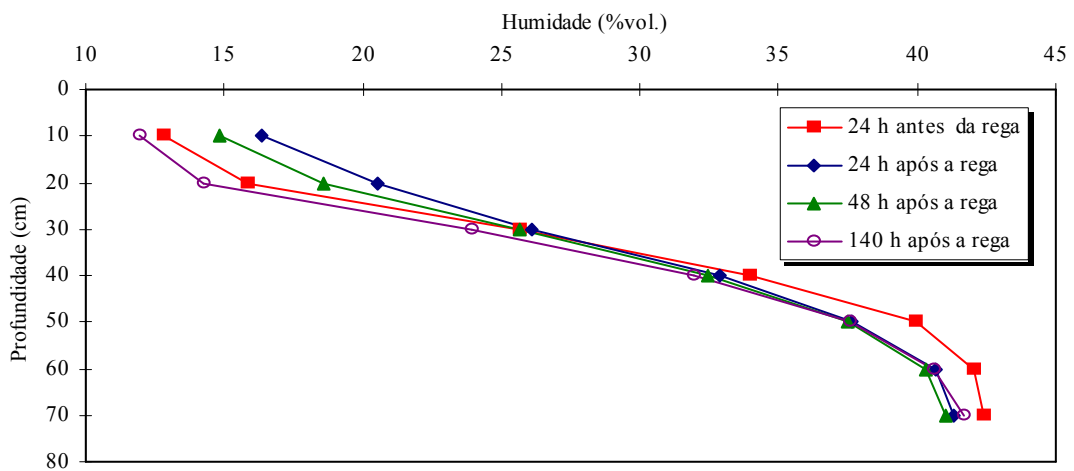
**Figura 25 - Perfil de humidade, antes e após a 3ª rega, estação II.**



**Figura 26 - Perfil de humidade, antes e após a 3ª rega, estação III.**



**Figura 27 - Perfil de humidade, antes e após a 3ª rega, estação IV.**



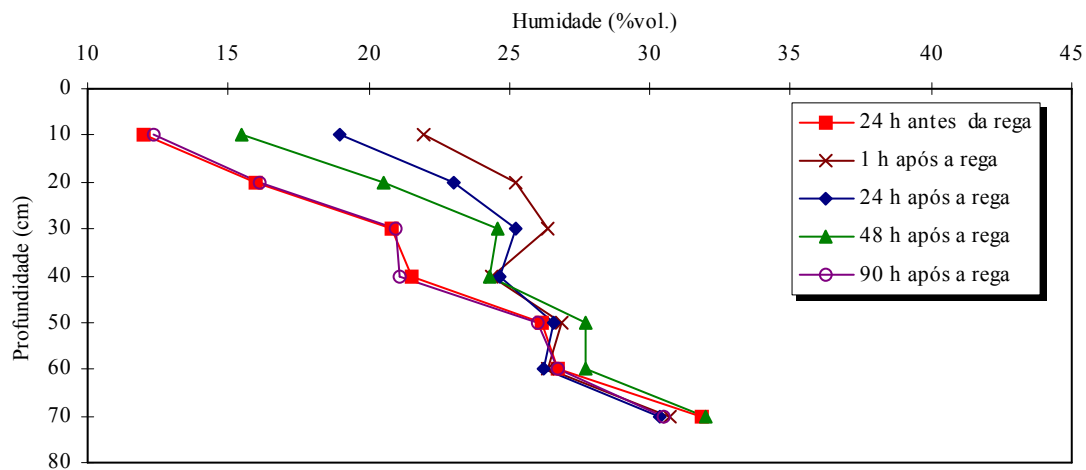
**Figura 28 - Perfil de humidade, antes e após a 3ª rega, estação V.**

Em termos globais, existe maior teor de água em profundidade, o que se mantém mesmo após a rega e verifica-se uma redução do teor de água à medida que o tempo passa após a realização da rega, essencialmente no horizonte A (até aos 30 cm de profundidade). Verifica-se também a existência de teores de água no solo mais reduzidos na última leitura após a rega comparados com os que se verificam antes da rega (exemplo fig. 24 e 28) o que pode significar que o intervalo entre regas foi demasiado longo.

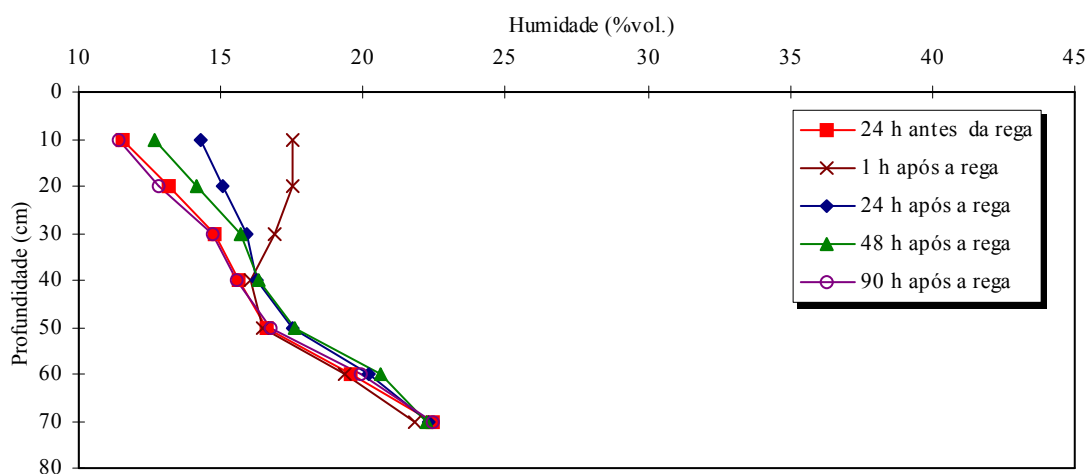
Em todas as estações observa-se que quando a água atinge determinada profundidade, acumula-se e apresenta dificuldade em atingir as camadas subjacentes. A infiltração dá-se rapidamente no horizonte A, até que a frente de humedecimento atinja o horizonte B e a partir deste momento, segundo Shahidian (1996) a infiltração só se dará horizontalmente.

Mas esta acumulação ocorre em profundidades diferentes e com intensidades diferentes. Assim para a estação I e para a estação II verifica-se que a acumulação ocorre entre os 30-40 cm de profundidade o que indica a presença do horizonte B cerca dos 40 cm. A menor intensidade deste fenómeno, ou seja uma diminuição mais gradual do teor de humidade, verificada na estação II, relaciona-se com a menor quantidade de argila do horizonte B neste local. No caso das estações III, IV e V a acumulação verifica-se preferencialmente por volta dos 20-30 cm, o que pressupõe o horizonte argílico mais superficial, aproximadamente aos 30 cm. Estes aspectos gerais são observáveis nas diferentes regas. Na profundidade correspondente ao horizonte C é visível novamente, na maioria das estações, uma maior variação do teor de água ao longo do tempo, devido essencialmente ao processo de drenagem

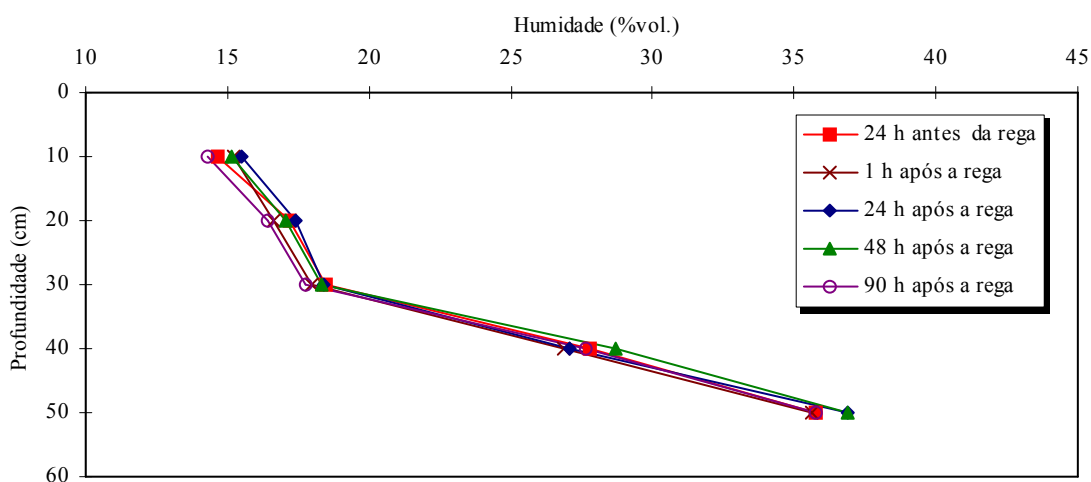
Seguidamente apresentam-se os perfis de humidade respeitantes à 7ª rega, realizada com velocidade 35 e em que a dotação recolhida foi de 16,7 mm. Nesta altura já o sistema radical da cultura atingira a profundidade máxima (55 cm).



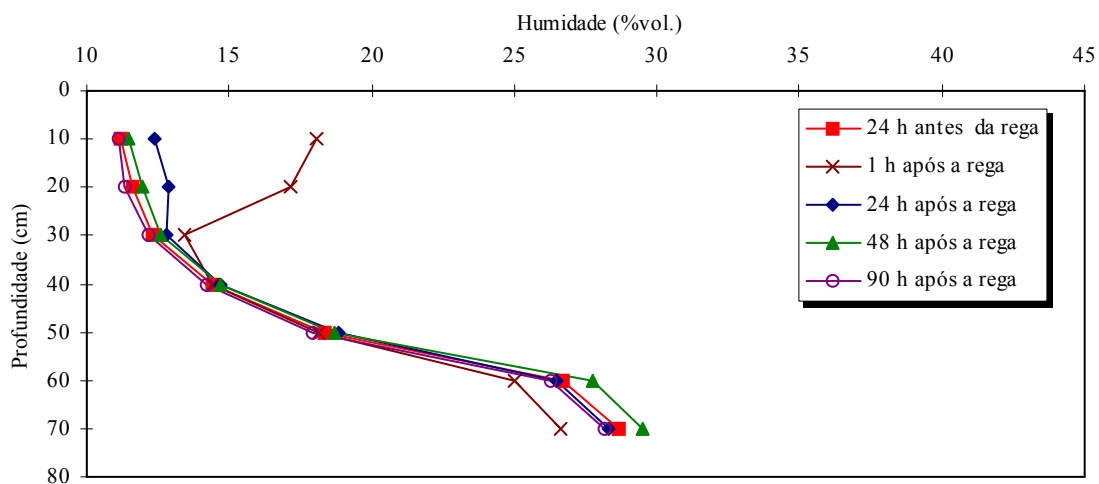
**Figura 29 - Perfil de humidade, antes e após a 7ª rega, estação I.**



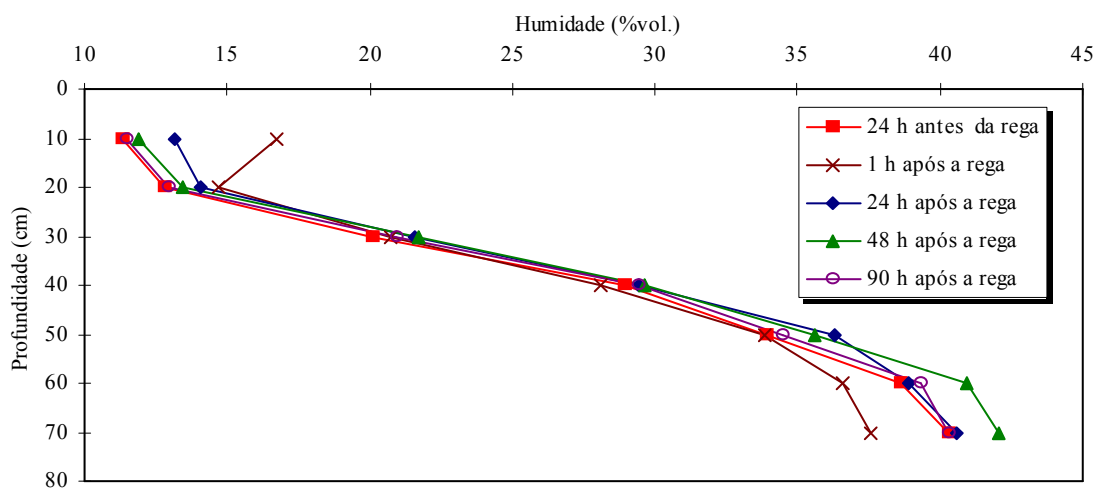
**Figura 30 - Perfil de humidade, antes e após a 7ª rega, estação II.**



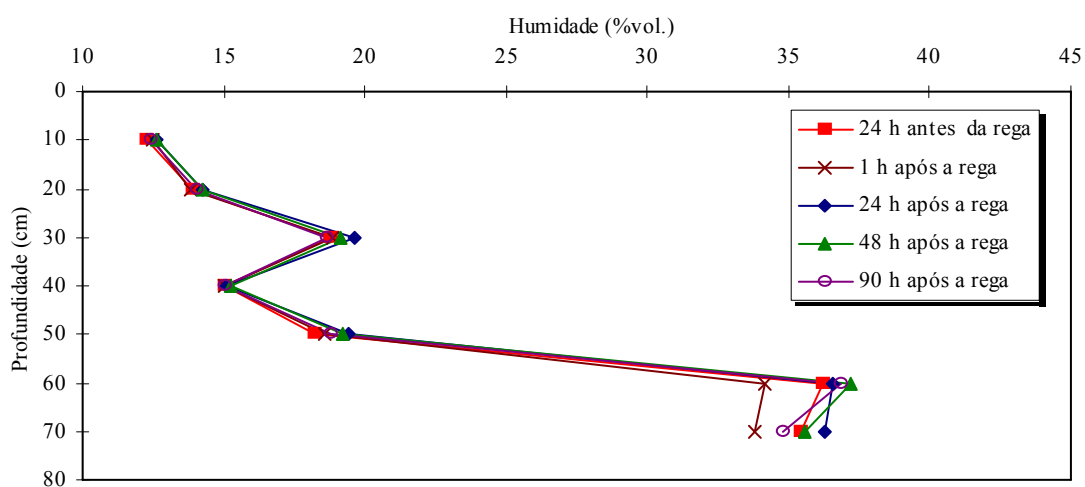
**Figura 31 - Perfil de humidade, antes e após a 7ª rega, estação III.**



**Figura 32 - Perfil de humidade, antes e após a 7ª rega, estação IV.**



**Figura 33 - Perfil de humidade, antes e após a 7ª rega, estação V.**



**Figura 34 - Perfil de humidade, antes e após a 7ª rega, estação VI.**



O maior volume de raízes da cultura, e o facto de estas terem atingido maiores profundidades, facilitando quer o movimento da água, quer a extracção da água armazenada no solo, pode explicar uma maior variabilidade no teor de água no solo ao longo do tempo e após a rega em alguns pontos de observação, nomeadamente nas estações I e II (figs. 29 e 30), comparativamente às variações observadas durante a 3ª rega. Mas nos outros pontos a tendência de evolução do teor de água no solo é semelhante à já descrita anteriormente.

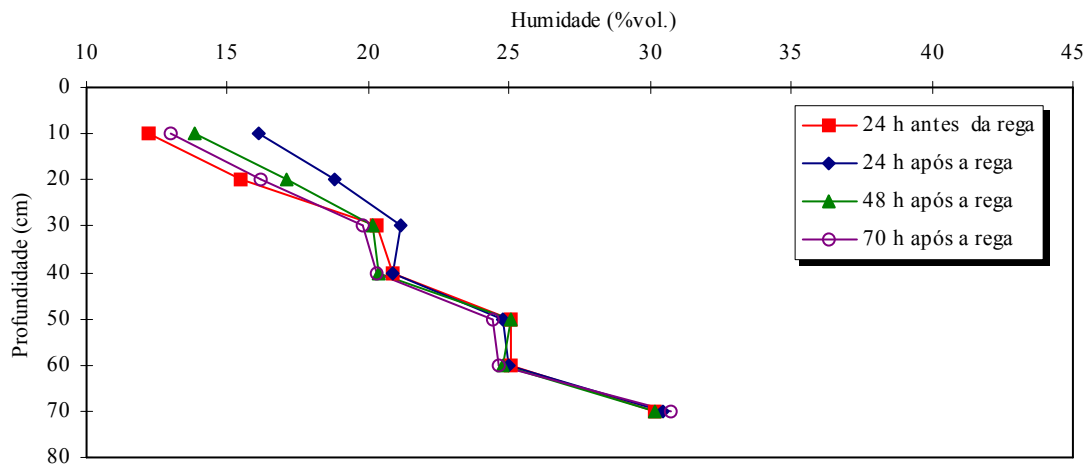
Na estação VI, verifica-se uma diminuição brusca do teor de água para uma profundidade de 40 cm (fig. 34). Esta diminuição manteve-se ao longo de todo o ensaio e explica-se pela presença de uma camada de pedras miúdas a esta profundidade neste local, tal como descrito no perfil 3 da caracterização hidropedológica. O teor de água baixa, até aos 15-16 %, e não desce mais devido possivelmente às películas de argila que envolvem as pedras e que retêm alguma água.

Esta mesma estação encontra-se a 467 m do pólo, ou seja na extremidade, pelo que sofre da deficiência pluviométrica desta zona. Os teores de água mantêm-se ao longo do perfil antes e após as regas e mesmo na 7ª rega (fig. 34), onde se efectuaram leituras uma hora após a rega não se verifica aumento do teor de água na camada superficial. A quantidade de água aplicada limita-se a pulverizar o solo, dando-lhe o aspecto molhado, mas não existe infiltração. Este comportamento verificou-se ao longo de todo o ensaio, pelo que somente se apresenta este perfil de humidade do solo, para esta estação.

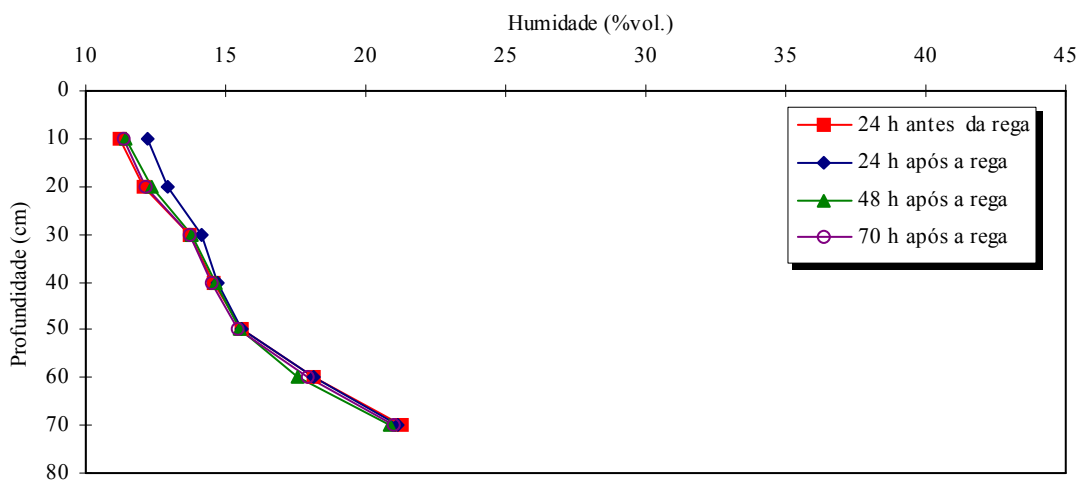
Na 7ª rega, pela análise das medições efectuadas 1 hora após a sua realização, pode observar-se que nas estações I, II e IV a frente de humedecimento já atinge os 30 cm de profundidade, enquanto nas restantes a sua deslocação é mais lenta ou não é perceptível.

Nas últimas regas as medições efectuadas ao longo do tempo apresentam valores bastante semelhantes, o que resulta da conjugação de uma crosta mais espessa, com menores dotações e quando os tubos de acesso já apresentam alguma compactação em seu redor.

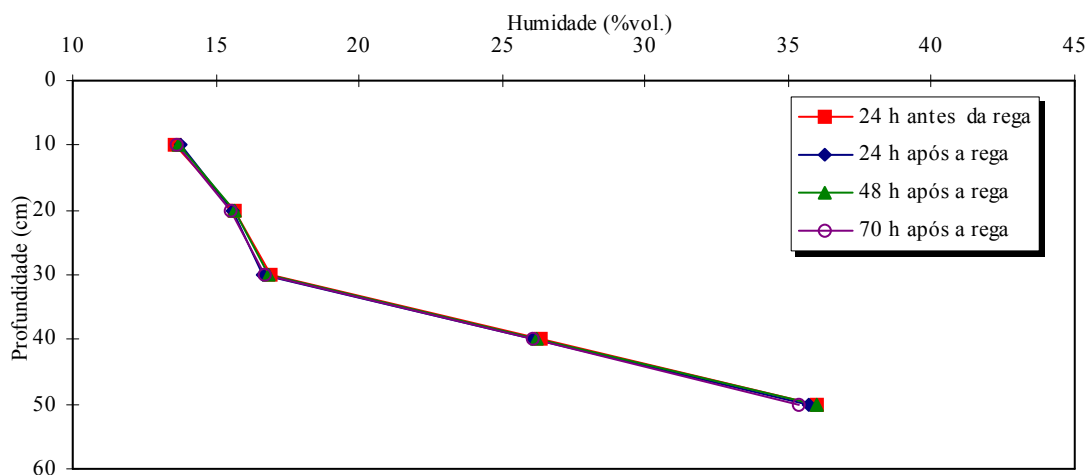
Na fase terminal do ensaio, as últimas medições após a rega já não conduzem a teores menores que os verificados antes da rega, pois praticaram-se regas mais frequentes e o solo já se encontra mais seco em toda a profundidade, tal como se pode observar nas figuras 35 a 39, correspondentes à 12ª rega, realizada com velocidade 50 e com uma dotação recolhida de 11,8 mm.



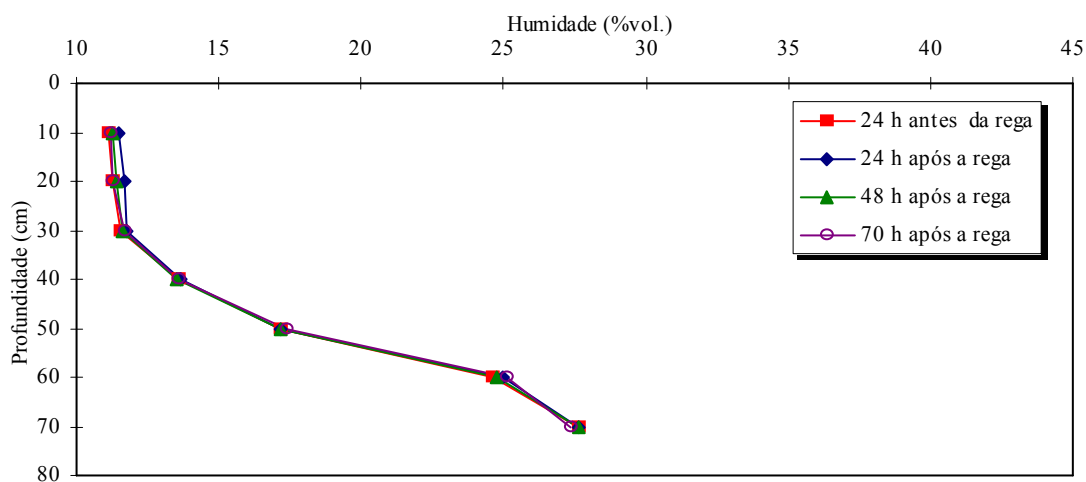
**Figura 35 - Perfil de humidade, antes e após a 12ª rega, estação I.**



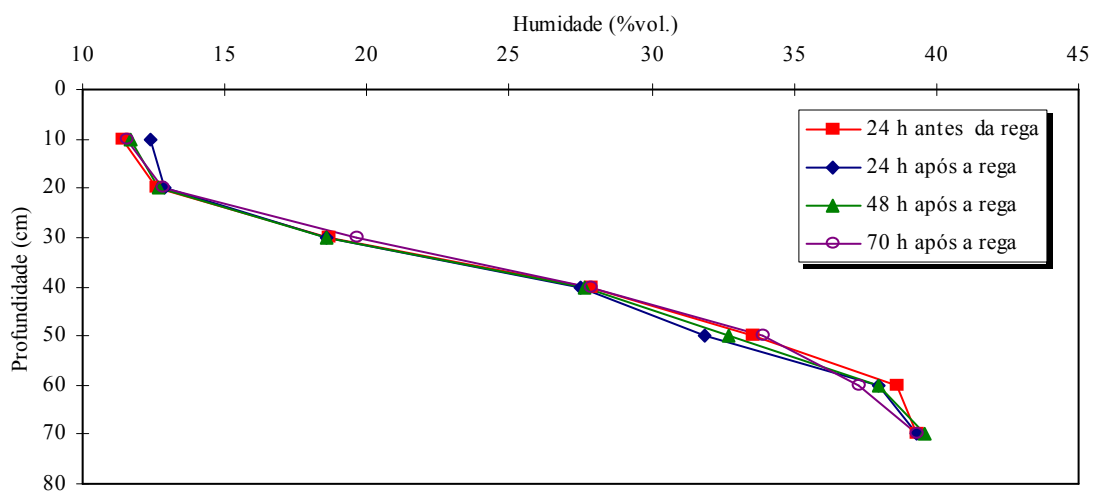
**Figura 36 - Perfil de humidade, antes e após a 12ª rega, estação II.**



**Figura 37 - Perfil de umidade, antes e após a 12ª rega, estação III.**



**Figura 38 - Perfil de umidade, antes e após a 12ª rega, estação IV.**



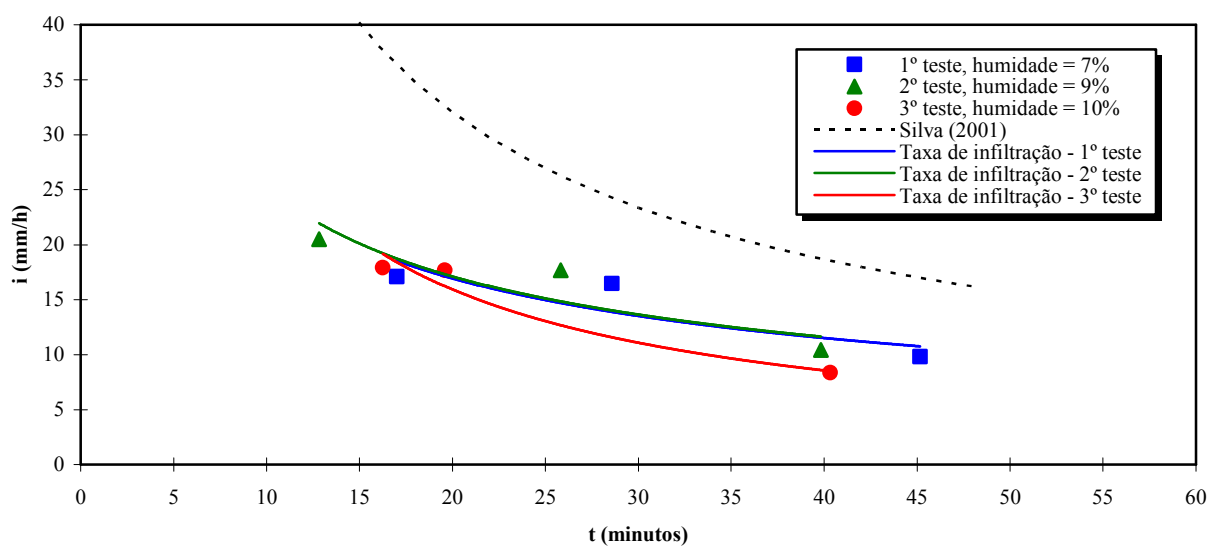
**Figura 39 - Perfil de umidade, antes e após a 12ª rega, estação V.**

O relacionamento entre os perfis de humidade do solo e os valores da retenção da água no solo permite verificar que na estação I a maioria das regas possibilitou atingir a C.C. no horizonte A. Na estação II, IV e V o horizonte A nunca atingiu a C.C. enquanto na estação III somente a 3ª e a 5ª rega alcançaram a C.C. para o referido horizonte. Relativamente ao horizonte B na generalidade observa-se que aumenta a profundidade do solo a partir da qual se pode encontrar a C.C. com o decorrer do ensaio, existindo casos em que o horizonte B nunca a atinge ou então deixa de a atingir com o decorrer do ensaio.

## 4.2 Análise da infiltração do solo e do escoamento potencial

### 4.2.1 Ensaio de infiltração

A realização dos referidos três testes de infiltração tornou possível a determinação de três curvas da infiltrabilidade do solo, a que correspondem as equações 3.12, 3.13, 3.14, e que se encontram representadas na figura seguinte.



**Figura 40 - Representação dos resultados obtidos nos testes de infiltração.**

No sentido de testar a veracidade dos resultados obtidos com este infiltrómetro, representa-se também na fig. 40 uma curva de infiltrabilidade determinada por Silva (2001), utilizando uma rampa rotativa como equipamento de aplicação da água durante o ensaio de infiltração, tentando deste modo simular mais correctamente as condições de aplicação de água pelas rampas rotativas, nomeadamente no que se refere à intensidade pluviométrica, traduzida pela expressão:

$$i \text{ (mm/h)} = 13,627 t^{-0,778} \quad (4.1)$$

em que  $i$  representa a infiltrabilidade do solo, em mm/h, e  $t$  o tempo em horas.

As curvas determinadas neste trabalho, excepto a representativa do 3º teste, apresentam um perfil idêntico à do autor anterior e posicionam-se abaixo desta, o que se pode explicar pela menor intensidade de aplicação de água por parte do infiltrómetro, relativamente à aplicada pela rampa rotativa utilizada por Silva (2001). A menor taxa de aplicação do infiltrómetro utilizado nestes ensaios (8,4 a 20,5 mm/h) conduz a menores valores de infiltração da água no solo, que sendo por sua vez utilizados no processo de regressão para determinar a curva de infiltrabilidade do solo originam necessariamente uma equação com menores valores de infiltração ao longo do tempo. Pode daqui concluir-se da importância de realizar ensaios de infiltração com intensidades de aplicação da água o mais perto possível da realidade.

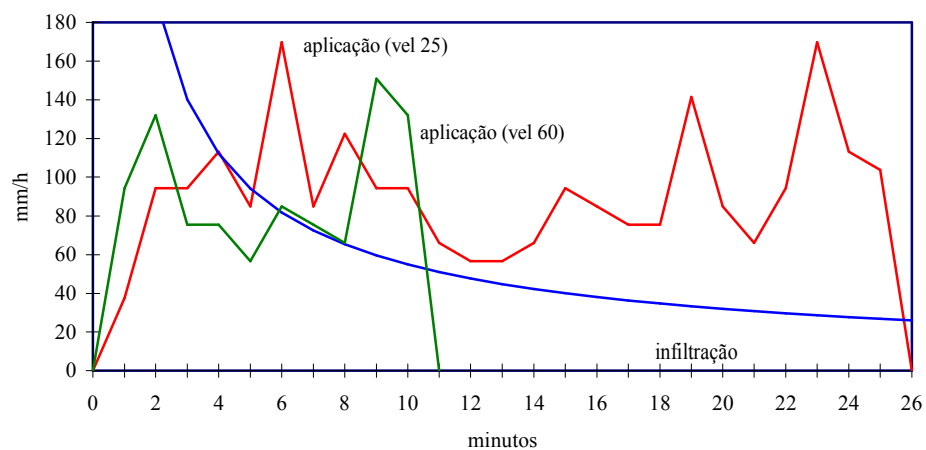
#### **4.2.2 Avaliação do escoamento potencial**

Quando a intensidade de precipitação excede a infiltrabilidade do solo, temos decerto problemas de escoamento superficial.

Na figura 41 encontram-se representados os diagramas pluviométricos, para as duas velocidades extremas utilizadas ao longo deste ensaio (25 e 60). A intensidade de precipitação não é constante e a sua evolução pode ser aproximada graficamente por uma curva em

forma de M, que se apresenta tanto mais nítida quanto menor o tempo de aplicação de água sobre um ponto. Representa-se também, na mesma figura, a curva da infiltrabilidade determinada por Silva (2001), equação (4.1). Usou-se esta equação pelo facto de ter sido determinada com uma intensidade de precipitação mais próxima (111 a 125 mm/h) à observada durante as regas neste ensaio.

A utilização de qualquer uma das outras equações encontradas com o infiltrómetro de aspersão, acentuaria ainda mais o problema do escoamento.



**Figura 41 - Curvas de intensidade de precipitação (velocidade da rampa 25 e 60) e curva da infiltrabilidade do solo obtida por Silva (2001).**

A existência de escoamento potencial é facilmente visível e comprovada pela intersecção das curvas de intensidade de precipitação com a curva da infiltrabilidade do solo. Para ambas as velocidades de avanço da rampa verifica-se a existência de pontos em que a taxa de aplicação da água é superior à infiltrabilidade, o que originará escoamento ou retenção superficial, facto que se verificou durante as regas tal como demonstra a figura 42.

A área compreendida entre a curva de infiltração do solo e a curva de intensidade de precipitação permite quantificar o escoamento ou a retenção à superfície. Facilmente se verifica que o escoamento ou a acumulação à superfície é muito superior para a velocidade mais reduzida, em que o tempo de aplicação é bastante superior.



**Figura 42 - Observação do escoamento ocorrido durante a 3ª rega, realizada com velocidade 25 e ainda com a crosta superficial numa fase incipiente.**

### **4.3 Produção**

A cultura foi destinada à produção de silagem, e a quantidade média obtida para toda a área regada pela rampa rotativa foi de 36 000 Kg/ha.

Esta produção não é alheia ao facto, entre outros referidos anteriormente, de se ter verificado um défice hídrico na parte final do ensaio devido ao adiamento da colheita por avaria da máquina colhedora. Este avanço na data da colheita não foi compensado com mais nenhuma rega levando a uma quebra brusca do rendimento da cultura.

#### 4.4 Propostas de melhoria no funcionamento do sistema

Como já foi referido, verificou-se ao longo do ensaio um défice pluviométrico na extremidade distal da rampa, o que leva a concluir do incorrecto dimensionamento do grupo motor-bomba.

O caudal determinado é reduzido para o bom funcionamento da máquina e para satisfazer as necessidades hídricas da cultura. O caudal óptimo ou caudal de projecto, ( $Q_o$ ), pode ser determinado pela seguinte fórmula:

$$Q_o \text{ (l/s)} = \frac{\text{Etc} \times A}{EA \times \text{Tr}} \times 0,116 \quad (4.2)$$

em que : Etc - evapotranspiração cultural máxima (mm/dia);

A - área regada (ha);

EA - eficiência de aplicação (%);

Tr - tempo de rega diário (h).

A eficiência de aplicação, para sistemas bem dimensionados, tem como valor médio os 80 %. Estabeleceu-se um tempo de rega diário de 16 horas, de acordo com as tarifas de electricidade. A velocidade a utilizar será 50 (32h/volta), pelo que de 2 em 2 dias a rampa volta à posição inicial, recomeçando uma nova rega.

Esta modalidade de rega é estabelecida para o período em que as necessidades hídricas são máximas, sendo necessário ajustes para os restantes períodos ao longo da época.

Sendo assim o caudal de projecto atinge um valor de 338,9 m<sup>3</sup>/h.

O passo seguinte é o cálculo da altura total de elevação, ( $H_t$ ), para o caudal anteriormente determinado:



$$H_t = \Delta H_r + P_m + \Delta Z + \Delta H_c + V_e^2 / 2g \quad (4.3)$$

sendo:  $\Delta H_r$  - perda de carga ao longo da rampa (mca);

$P_m$  - pressão mínima de funcionamento (mca);

$\Delta Z$  - diferença de cota entre a charca e a extremidade distal da rampa (m);

$\Delta H_c$  - perda de carga na conduta adutora (mca);

$V_e$  - velocidade máxima de elevação (m/s).

Para o cálculo da perda de carga ao longo da rampa recorreu-se à utilização do caudal aplicado por metro linear de rampa ( $q_L$ ), definido segundo Martin-Benito (1995) por:

$$q_L \text{ (l/s)} = \frac{2 d Q_o}{R^2} \quad (4.4)$$

em que:  $d$  - distância considerada (m);

$R$  - comprimento da rampa (m).

Determinado o caudal que percorre a rampa entre dois aspersores sucessivos, torna-se possível pela equação de Hazen-Williams (3.2), determinar a perda de carga ao longo da rampa.

A altura total de elevação atinge 68 m, valor impossível de atingir com a presente bomba (anexo V). Para a resolução deste problema apresentam-se duas hipóteses, que parecem ser as mais exequíveis:

- substituição do grupo motor-bomba, por uma bomba de maior pressão e de maior caudal, só possível com um motor de potência aproximada de 115 cv, por forma a garantir uma altura total de 68 m;

- substituir a conduta entre a bomba e o pólo por uma de material idêntico, mas de 300 mm de diâmetro, de forma a reduzir as perdas de carga na conduta e assim diminuir a altura total de elevação. Esta hipótese permite reduzir o valor de  $H_t$  para 53 m, o que segundo a curva característica da presente bomba possibilita o débito de 340 m<sup>3</sup>/h.

A decisão de qual das hipóteses a realizar envolve questões económicas, que tem de ser forçosamente consideradas e que não se encontram no âmbito deste trabalho.

---

## CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES

---

Em relação às necessidades de rega da cultura verifica-se que o programa “Cropwat” se apresenta como um método de fácil utilização, mas os resultados por ele fornecidos são mais elevados do que os obtidos utilizando a fórmula de Penmann-Monteith sem simplificações. Este último método permitiu obter uma boa estimativa das necessidades de água da cultura ao longo do seu ciclo vegetativo.

A determinação das dotações ideais de rega a aplicar, no caso dos solos argiluvados apresenta alguma dificuldade de cálculo, devido à rápida variação da infiltrabilidade do solo. Verifica-se muitas vezes que a rega foi deficiente não permitindo a reposição da reserva facilmente utilizável e outras por vezes em excesso conduzindo a processos de escoamento ou retenção superficial. Da análise da caracterização hidropedológica e dos perfis de humidade das várias estações, conclui-se que existe alguma heterogeneidade do solo, principalmente no que diz respeito à profundidade a que se encontra o horizonte B e à quantidade de argila que apresenta. Perante tal situação recomenda-se a execução de regas com baixa dotação, que necessariamente obrigam a uma maior frequência de rega, tal como o exemplo utilizado na simulação da programação de rega e para o redimensionamento de parte do sistema.

Esta modalidade possibilita obter produções com quebras muito ligeiras quando é realizada uma rega deficitária com a rampa rotativa (Merriam et al, 1980), o que se reveste de grande importância pois a água é um recurso escasso e a maioria dos produtores aplica dotações inferiores às necessidades de rega da cultura, tal como o sucedido ao longo do

ensaio.

Por outro lado, uma análise prévia teria permitido ao nosso produtor verificar que com o nº de horas de rega que pretendia fazer e as características do seu sistema de rega deveria optar por uma cultura regada menos exigente em água do que o milho.

Na determinação das curvas de infiltrabilidade, a menor intensidade de aplicação de água do infiltrómetro relativamente à aplicada pela rampa rotativa (Silva, 2001) origina uma equação com menores valores de infiltração ao longo do tempo. Assim, pode-se concluir da importância de realizar ensaios de infiltração com intensidades de aplicação de água semelhantes aos valores utilizados na realidade. Desta forma a utilização das curvas da infiltrabilidade e dos diagramas pluviométricos determinados no campo, podem ser uma estimativa bastante rigorosa do escoamento.

Relativamente à avaliação das regas, identifica-se uma diminuição ligeira da uniformidade de distribuição da água à medida que a velocidade aumenta, até à velocidade de 40. Para velocidades superiores esta relação não se verifica.

No que diz respeito à eficiência de aplicação, que apresenta na generalidade valores reduzidos (somente na 7ª rega se obteve mais de 80 %), recomenda-se em trabalhos futuros, para este cálculo, a determinação exacta do caudal, a utilização de teores de água do solo 5 a 10 horas após a rega e se possível englobar a quantidade de água retida pelas folhas das plantas, o que conduzirá decerto a melhores resultados.

Como se verificaram ao longo das regas, valores baixos de eficiência potencial de aplicação, devido principalmente às elevadas perdas por evaporação e arrastamento do vento, é aconselhável a colocação dos aspersores em tubos adicionais descendentes, para tentar minimizar o efeito do vento.

Por forma a tentar contrariar o escoamento superficial e aumentar a capacidade de retenção superficial de água será útil recorrer à execução de covachos. No entanto, será

necessário verificar se os covachos, só por si, são suficientes e acompanhar o seu estado de conservação, pois os covachos ao transbordarem ou ao deformarem-se com as sucessivas regas podem dar origem a um processo de reacção em cadeia, que pode ter graves consequências quanto à erosão, ampliando o que à partida se tentava minimizar. Verificam-se situações em que os covachos ao longo da época de rega diminuem de volume em 80% do valor inicial (Silva, 2004).

Se as soluções apresentadas anteriormente não se mostrarem eficazes, então há que substituir os aspersores estáticos que equipam a máquina por aspersores rotativos, com o objectivo de diminuir a intensidade de precipitação em cada ponto. Para os níveis de escoamento superficial verificados, e com base no preço actual da água, há que equacionar e estudar bem esta alteração, pois a poupança de água será significativa e a erosão do solo será menor.

Por outro lado, em ensaios realizados num solo Mediterrânico, e com uma cultura de milho implantada com diferentes técnicas de mobilização, foi possível verificar que a sementeira directa diminui a quantidade de escoamento e permite manter o solo durante toda a época de rega com um maior teor de água, principalmente à superfície (Basch e Carvalho, 1998).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADDINK, J. W., KELLER, J., PAIR, C. H., SNEED, R. E. AND WOLFE, J. W. (1983) *Design and operation of sprinkler systems*, in “Design and Operation of Farm Irrigation Systems”; ed. Jensen, M.E., Michigan, ASAE.
- ALLEN, R. G. (1994) *An update for the calculation of reference evapotranspiration*; vol. 43, *Icid Bulletin*, s.l., p. 65-82.
- ASAE (1995) *Test procedure for determining the uniformity of water distribution of center pivot, corner pivot, and moving lateral irrigation machines equipped with spray or sprinkler nozzles*; s.l., p. 750-751.
- BASCH, G. e M.J.G.P.R. CARVALHO (1998) *Effect of soil tillage on runoff and erosion under dryland and irrigated conditions on mediterranean soils*; *Geoökodynamik*, vol. 19, p. 257-268.
- BENAMI, A. e OFEN, A. (1984) *Irrigation Engineering*; IESP, Haifa.
- BRAZ, P. N. P. (1990) *Ensaio de rega por sulcos com “Cut-Back” computadorizado*; Trabalho de Fim de Curso, Universidade de Évora, Évora.
- CAPACITANCE SOIL MOISTURE PROBE, User Manual.
- CARDOSO, J. C. (1965) *Os solos de Portugal: sua classificação, caracterização e génese (I - A Sul do Tejo)*; Direcção Geral dos Serviços Agrícolas, Lisboa.
- CARDOSO, P. J. P. (1992) *Caracterização física, química e topográfica dos solos argiluviosos sujeitos à cultura do arroz*; Trabalho Fim de Curso, Universidade de Évora, Évora.
- CARVALHO, M. (1990) *Sistemas de mobilização do solo em milho regado por aspersão móvel num solo Pdg*; Actas do seminário NATO - PO - Irrigation, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa, p. 197-215.
- CHU, S. e MOE, D. L. (1972) *Hydraulics of a Center Pivot System*; Transaction of ASAE 15, Michigan.
- COSTA, J. B. (1991) *Caracterização e constituição do solo*; 4ª edição, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa.
- CRUZ, A. H. A. (1987) *Caracterização hidropedológica dum solo argiluvioso para aplicação a estudos de rega por sulcos: ensaio preliminar de rega com*

*escorrimento intermitente “surge flow”*; Trabalho Fim de Curso, Universidade de Évora, Évora.

- DILLON, R. C., HILER, E. A. AND VITTETOE, G. (1972) *Center pivot sprinkler design based on intake characteristics*; Michigan, ASAE.
- DOORENBOS, J. e KASSAM, A. H. (1985) *Yield Response to Water*; FAO Irrigation and Drainage Paper N° 33, FAO, Roma.
- FACI, J. e BERCERO, A. (1991) *Efecto del viento en la uniformidad y en las perdidas por evaporacion y arraste en el riego por aspersión*; Invetigacion Agraria-Proteccion Vegetales, n.º 6, p.171-182.
- HEERMANN, D. F. (1990) *Center pivot design and evaluation*, in “Proceedings of the third national irrigation symposium”; Arizona, p. 564-571.
- HEERMANN, D. F. e KOHL, R. A. (1980) *Fluid Dynamic od Sprinkler Systems*, in “Design and Operation of Farm Irrigation Systems”; ASAE, ed. Jensen, Michigan.
- HOFFMAN, G. J., HOWELL, T. A.; Solomon K. H. (1992) *Management of Farm Irrigation System*; ASAE, St. Joseph, Michigan.
- KELLER, J. e BLIESNER, R. (1990) *Sprinkle and Trickle irrigation*; New York.
- LION, G. C. (1991) *Riego por aspersión*; ed. Mundi-prensa, Madrid, 1991.
- LUZ, P. F. A. B. (1991) *Avaliação global da rega por “center-pivot”*; Tese submetida para satisfação parcial dos requisitos para o grau de Mestre, Instituto Superior de Agronomia - Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- LUZ, P. F. A. B. (1993) *Rega por “center-pivot”*; Instituto Nacional de Investigação Agrária, Lisboa.
- MARTIN-BENITO, J. M. T. (1995) *El riego por aspersión y su tecnologia*; ed. Mundi-Prensa, Madrid.
- MERRIAM, J. L., SHEARER, M. N. AND BURT, C. M. (1980) *Evaluating Irrigation Systems and Practices*, in “Design and Operation of Farm Irrigation Systems”; ASAE, ed. Jensen, Michigan.
- OLIVEIRA, I. (1993) *Técnicas de regadio*; Tomo I e II, Instituto de Estruturas Agrárias e Desenvolvimento Rural, Lisboa.
- PEREIRA, L.S. (2004) *Necessidades de Água e Métodos de Rega*; Publicações Europa-América, Lisboa.

- PEREIRA, L.S. (1999) *Higher performances through combined improvements in irrigation methods and scheduling: a discussion*; Agricultural Water Management 40, p.153-169.
- PINHEIRO, S. R. S. (1990) *Estudo da reorganização da rega da Herdade do Cabido e Anexas*; Trabalho Fim de Curso, Universidade de Évora, Évora.
- PINTO, M. E. M. C. (1966) *Ante-projecto de aproveitamento hidroagrícola duma Parcela do Couto da Várzea*; Instituto Superior de Agronomia, Lisboa.
- PORTAS, C. A. M. (1970) *Acerca do sistema radical de algumas culturas hortícolas*; Universidade de Luanda, Luanda.
- QUINTELA, A. C. (1993) *Hidráulica*; 4ª edição, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa.
- RAMOS, T. M. S. (1992) *Estudo do movimento da frente de humedecimento e do perfil de humidade do solo em rega por sulcos*; Trabalho Fim de Curso, Universidade de Évora, Évora.
- RAPOSO, J. R. (1994) *A rega por aspersão*; 2ª edição, Nova Colecção Técnica Agrária, Clássica Editora, Lisboa.
- REINDERS, F. B. e LOUW, A. A. (1984) *Infiltration: measurement and use*; Department Agricultural Technical Services, Republic of South Africa, p. 17-20.
- ROLLAND, L. (1986) *Mecanizacion del riego por aspersion*; FAO Riego y Drenage nº 35, Roma.
- SANTOS JÚNIOR, A. G. (1987) *Movimento da água no solo*; 2ª edição, Universidade de Évora, Évora.
- SANTOS, A. M. M. (1992) *Desenvolvimento, montagem e teste de um equipamento de cabo-rega para rega por sulcos*; Trabalho Fim de Curso, Universidade de Évora, Évora.
- SANTOS, C. A. S. M. (1995) *Estudo da influência da subsolagem e drenagem toupeira nas condições hidropedológicas dum solo argiluvado regado por sulcos*; Trabalho Fim de Curso, Universidade de Évora, Évora.
- SERAFIM, A. M. P. B. (1994) *Sobre a implantação de rampas polares*; Dissertação para doutoramento em Engenharia Agronómica, Instituto Superior de Agronomia - Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- SERRALHEIRO, R. P. (1985) *Necessidades de rega das culturas*; Curso de Hidrologia aplicado à região do Algarve, Universidade de Évora, Évora.
- SERRALHEIRO, R. P. (1985) *Hidráulica Agrícola I*; 2ª edição, Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade de Angola.



- SHAHIDIAN, S. (1996) *Automatização do Cabo-Rega com retorno da informação do campo em tempo real*; Universidade de Évora, Évora.
- SILVA, L. L. S. (2001) *O efeito das características de aplicação da água sobre a infiltração num solo mediterrâneo regado por rampa rotativa*; Universidade de Évora.
- SILVA, L. L. S. (2004) *Conservação do solo, gestão e uso eficiente da água na rega por "center-pivot" na área a beneficiar pelo alqueva*; Apresentação resultados projecto Agro 350, Beja.
- SILVA, L. L. S. (2006) *The effect of spray head sprinklers with different deflector plates on irrigation uniformity, runoff and sediment yield in a Mediterranean soil*; Agricultural Water Management 85, p. 243-252.
- SILVA, L. L. S. (2007) *Fitting infiltration equations to centre-pivot irrigation data in a Mediterranean soil*; Agricultural Water Management 94, p. 83-92.
- SILVA, L. L. S. (2010) *Runoff under sprinkler irrigation: affecting factors and control practices*; Nova Science Publishers, New York.
- SMITH, M. (1991) *Cropwat*, version 5.7; Dirección de Fomento Tierras y Aguas, FAO, Roma.
- SOUSA, P. A. V. C. (1994) *Influência da subsolagem e drenagem toupeira no perfil de humidade dum solo argiluvado regado por sulcos*; Trabalho Fim de Curso, Universidade de Évora, Évora.
- TARJUELO, J. M. (1999) *El riego por aspersión y su tecnología*; Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.
- TARJUELO, J.M.; MONTERO, J.; HONRUBIA, F.T.; ORTIZ, J.J.; ORTEGA, J.E. (1999) Analysis of uniformity of sprinkle irrigation in a semi-arid area. *Agric Water Manage.* 40, p. 315-331.
- WALKER, W. (1980) *Sprinkler and Trickle Irrigation*; 4th Edition, Colorado State University, Fort Collins, Colorado.

---

## **ANEXOS**

---

## ANEXO I

### **Descrição do perfil de um solo mediterrâneo pardo de quartzodioritos (Pmg) segundo Cardoso (1965):**

Horizonte A - 15 a 35 cm; pardo ou castanho; franco-arenoso a arenoso; estrutura granulosa fina fraca ou sem agregados; não aderente; não plástico; muito friável ou solto, fofo ou solto; ph 5,5 a 6,5.

Transição nítida ou abrupta para:

Horizonte B - 20 a 50 cm; pardo ou castanho com pontuações e esbranquiçado de feldspatos; franco-argilo-arenoso, franco-argiloso, argilo-arenoso ou argiloso; estrutura prismática média ou grosseira moderada ou fraca, há películas de argila nas faces dos agregados, aderente, plástico, muito firme ou firme, muito rijo ou rijo; ph 6,5 a 7,5.

Transição nítida ou gradual para:

Horizonte C - Material originário proveniente da desagregação de quartzodioritos, notando-se nele além de feldspatos, partículas de quartzo e de micas.

## ANEXO II

### **Parâmetros de humidade do solo segundo Benami e Ofen (1984):**

Capacidade de campo (C.C.): - Teor de humidade retido pelo solo após a saturação e posterior drenagem livre, ao fim de um período de 1 a 3 dias. Em fins práticos, expressa-se como percentagem de peso do solo seco.

Coefficiente de emurchecimento (C.E.): - Teor de humidade do solo no qual as plantas não conseguem extrair água, originando-se um emurchecimento irreversível. Neste nível, considera-se que o reservatório de água do solo está vazio.

Capacidade utilizável (C.U.): - Define-se, como a diferença entre a capacidade de campo e o coeficiente de emurchecimento. É a capacidade de armazenamento do reservatório de água do solo. Também é expressável, como percentagem de peso do solo seco.

Reserva facilmente utilizável (R.F.U.): - Teor de água armazenável entre a capacidade de campo e o teor de água no solo abaixo do qual a eficiência de utilização da água é afectada (ponto crítico). Pode ser expressa como percentagem da capacidade utilizável

### ANEXO III

Cálculos das necessidades de rega através do programa "Cropwat".

Quadro 14 - Valores dos vários parâmetros culturais utilizados.

cultivo : MILHO-SILAGEM						
Archivo de cultivo :						
=====						
Etapas de crecimiento		Inicial	Desa.	Med.	Final	Total
Duración	[días ]	25	38	42	32	137
Coef. cultural Kc	[coef. ]	0.40	->	1.10	0.60	
Prof. raíces	[metro ]	0.15	->	0.55	0.55	
Niv. de agotamiento	[fracc.]	0.30	->	0.50	0.70	
Respuesta en el rendimiento Ky	[coef. ]	0.40	0.40	1.30	0.50	1.25

Quadro 15 - Cálculo da evapotranspiração e das necessidades de rega da cultura, tendo por base os dados climáticos de um ano médio.

Evapotranspiración y necesidades de agua de los cultivos								
=====								
Archivo de clima:			Estación mateo.: Evoral					
Cultivo : MILHO-SILAGEM			Fecha de siembra: 13 mayo					
Mes	Dec	Etap	Coef Kc	ETc mm/día	ETc mm/déc	PeF mm/déc	NER mm/día	NER mm/déc
may	2	init	0.40	1.55	10.8	6.7	0.59	4.1
may	3	init	0.40	1.67	16.7	8.5	0.82	8.2
jun	1	in/de	0.42	1.87	18.7	7.4	1.13	11.3
jun	2	deve	0.53	2.52	25.2	6.3	1.89	18.9
jun	3	deve	0.71	3.60	36.0	4.9	3.11	31.1
jul	1	deve	0.90	4.84	48.4	3.4	4.50	45.0
jul	2	de/mi	1.04	5.96	59.6	2.0	5.76	57.6
jul	3	mid	1.10	6.11	61.1	1.9	5.92	59.2
ago	1	mid	1.10	5.98	59.8	1.8	5.81	58.1
ago	2	mid	1.10	5.90	59.0	1.7	5.73	57.3
ago	3	mi/lt	1.08	5.25	52.5	3.3	4.92	49.2
sep	1	late	0.99	4.25	42.5	5.0	3.76	37.6
sep	2	late	0.83	3.18	31.8	6.6	2.52	25.2
sep	3	late	0.68	2.23	22.3	11.1	1.12	11.2
TOTAL					544.4	70.5		473.9

Quadro 16 - Cálculo da evapotranspiração e das necessidades de rega da cultura, tendo por base os dados climáticos recolhidos ao longo do ensaio.

Evapotranspiración y necesidades de agua de los cultivos								
Archivo de clima:				Estación meteo.: Divor				
Cultivo : MILHO-SILAGEM				Fecha de siembra: 13 mayo				
Mes	Dec	Etap	Coef Kc	ETc mm/día	ETc mm/déc	Pef mm/déc	NER mm/día	NER mm/déc
may	2	init	0.40	1.41	9.9	23.4	0.00	0.0
may	3	init	0.40	1.67	16.7	22.6	0.00	0.0
jun	1	in/de	0.42	2.04	20.4	9.0	1.14	11.4
jun	2	deve	0.53	2.96	29.6	0.0	2.96	29.6
jun	3	deve	0.71	4.08	40.8	0.0	4.08	40.8
jul	1	deve	0.90	5.27	52.7	0.5	5.22	52.2
jul	2	de/mi	1.04	6.34	63.4	0.8	6.27	62.7
jul	3	mid	1.10	6.24	62.4	2.1	6.03	60.3
ago	1	mid	1.10	5.78	57.8	3.5	5.42	54.2
ago	2	mid	1.10	5.38	53.8	4.9	4.89	48.9
ago	3	mi/lt	1.08	4.77	47.7	7.5	4.03	40.3
sep	1	late	0.99	3.87	38.7	11.3	2.74	27.4
sep	2	late	0.83	2.85	28.5	14.6	1.40	14.0
sep	3	late	0.68	2.06	20.6	9.7	1.09	10.9
TOTAL					543.0	109.8		452.5

## ANEXO IV

**Teores de humidade do solo (% volume), de todas as regas analisadas e os restantes perfis de humidade do solo.**

**Quadro 17 - Teores de humidade do solo (% volume), obtidos nas diversas estações, antes e depois da 3ª, da 7ª e da 12ª rega.**

Es ta ção	Prof. (cm)	Teor de humidade do solo ( % volume )												
		3ª rega - dot. 25,4 mm				7ª rega - dot. 16,0 mm					12ª rega - dot. 11,8 mm			
		24ant.	24ap.	48ap.	140ap.	24ant.	1ap.	24ap.	48ap.	90ap.	24ant.	24ap.	48ap.	70ap.
1	10	12,1	15,5	13,8	12,0	12,0	22,0	18,9	15,5	12,3	12,2	16,1	13,8	13,0
	20	16,4	20,2	18,4	15,8	16,0	25,2	23,0	20,5	16,1	15,5	18,8	17,1	16,2
	30	21,9	23,7	22,8	20,3	20,8	26,4	25,2	24,6	20,9	20,3	21,1	20,1	19,8
	40	23,1	23,9	23,3	21,0	21,5	24,4	24,6	24,3	21,1	20,9	20,9	20,4	20,3
	50	28,3	27,3	27,4	23,8	26,1	26,8	26,6	27,7	26,0	25,1	24,8	25,1	24,4
	60	28,5	27,3	27,6	24,5	26,7	26,4	26,2	27,7	26,7	25,1	25,0	24,8	24,6
	70	32,3	31,1	31,1	28,6	31,9	30,7	30,4	32,0	30,5	30,2	30,5	30,2	30,7
2	10	12,0	14,4	13,4	12,0	11,5	17,5	14,3	12,6	11,4	11,2	12,2	11,5	11,3
	20	13,8	15,7	14,9	13,8	13,1	17,5	15,1	14,1	12,8	12,1	12,9	12,3	12,1
	30	15,4	16,2	16,1	15,5	14,8	16,9	15,9	15,7	14,7	13,7	14,2	13,8	13,7
	40	16,1	17,1	17,1	16,3	15,6	16,0	16,2	16,3	15,6	14,6	14,7	14,6	14,5
	50	17,4	18,4	18,7	17,5	16,6	16,5	17,5	17,6	16,8	15,6	15,6	15,5	15,4
	60	20,4	21,0	21,4	20,7	19,5	19,4	20,2	20,6	19,9	18,1	18,1	17,6	17,9
	70	22,9	23,3	23,5	22,9	22,5	21,8	22,3	22,3	22,5	21,3	21,1	20,9	21,0
3	10	13,6	17,9	15,9	13,7	14,7	15,2	15,5	15,1	14,3	13,5	13,8	13,7	13,6
	20	15,4	20,1	18,1	16,1	17,2	16,6	17,4	17,1	16,4	15,7	15,6	15,7	15,5
	30	16,6	20,2	18,8	17,2	18,5	18,0	18,4	18,3	17,7	16,9	16,7	16,8	16,7
	40	28,0	28,2	27,9	26,6	27,8	26,8	27,0	28,7	27,7	26,3	26,1	26,2	26,1
	50	36,6	36,7	36,7	35,7	35,7	35,6	36,9	36,9	35,7	36,0	35,7	36,0	35,4
4	10	11,6	13,3	12,3	11,5	11,2	18,0	12,4	11,4	11,2	11,1	11,5	11,2	11,2
	20	13,0	14,3	13,6	12,9	11,6	17,1	12,9	12,0	11,4	11,2	11,7	11,4	11,3
	30	13,4	13,8	13,8	13,6	12,3	13,4	12,8	12,6	12,2	11,6	11,7	11,6	11,7
	40	15,3	15,7	15,8	15,6	14,4	14,4	14,7	14,7	14,2	13,6	13,7	13,5	13,6
	50	20,0	20,6	20,5	20,4	18,3	18,1	18,9	18,7	17,9	17,1	17,1	17,1	17,4
	60	28,0	27,7	27,4	27,3	26,7	25,0	26,4	27,7	26,3	24,6	25,0	24,8	25,1
	70	29,6	28,0	28,9	28,1	28,7	26,6	28,3	29,5	28,2	27,6	27,6	27,6	27,4
5	10	12,8	16,4	14,8	12,0	11,3	16,7	13,2	11,9	11,5	11,4	12,4	11,7	11,6
	20	15,9	20,6	18,6	14,3	12,8	14,7	14,0	13,5	13,0	12,6	12,9	12,7	12,8
	30	25,7	26,1	25,7	23,9	20,1	20,7	21,6	21,7	20,9	18,7	18,6	18,6	19,6
	40	34,0	32,9	32,5	31,9	28,9	28,1	29,4	29,6	29,4	27,9	27,5	27,6	27,9
	50	39,9	37,7	37,5	37,6	33,9	33,8	36,3	35,6	34,5	33,6	31,8	32,7	33,9
	60	42,0	40,7	40,3	40,6	38,6	36,6	38,9	41,0	39,3	38,6	37,9	37,9	37,3
	70	42,4	41,3	41,0	41,7	40,3	37,6	40,6	42,0	40,3	39,3	39,3	39,6	39,3
6	10	12,6	12,7	12,7	12,4	12,3	12,5	12,6	12,6	12,4	12,2	12,3	12,3	12,2
	20	14,9	14,5	14,5	14,4	13,9	13,8	14,3	14,2	14,0	13,9	13,9	13,8	13,7
	30	22,6	21,5	20,9	21,1	18,8	18,8	19,6	19,1	18,6	18,2	18,0	18,0	18,0
	40	16,6	16,3	16,2	15,8	15,0	15,1	15,1	15,3	15,0	14,0	13,7	13,7	14,2
	50	21,0	19,9	19,8	19,8	18,2	18,6	19,4	19,2	18,8	16,3	16,2	16,1	17,1
	60	37,1	35,0	36,2	35,4	36,2	34,1	36,6	37,2	36,8	34,6	35,1	33,6	35,1
	70	35,3	34,5	35,4	34,1	35,4	33,8	36,3	35,6	34,8	34,8	35,1	33,9	34,5

**Quadro 18 - Teores de humidade do solo (% volume), da 5ª, da 8ª e da 10ª rega.**

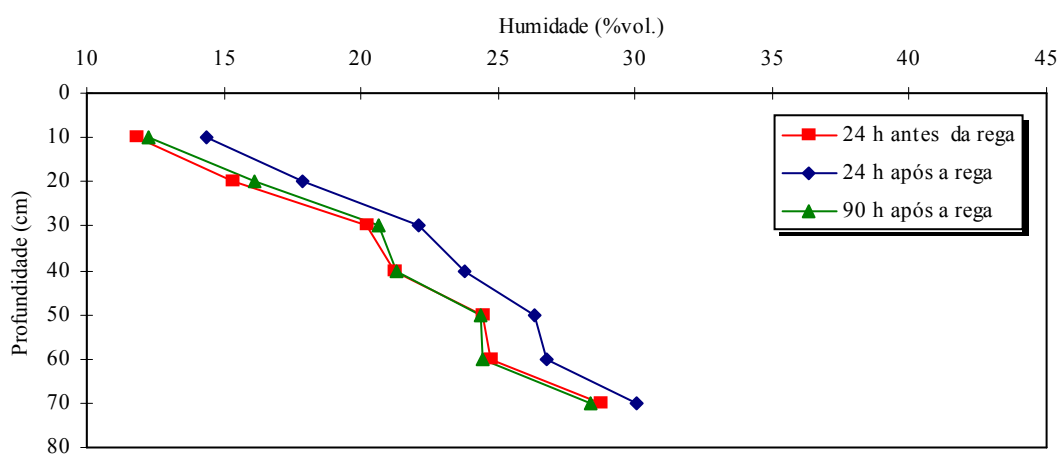
Es ta ção	Prof. (cm)	Teor de humidade do solo ( % volume )									
		5ª rega - dot. 16,8 mm			8ª rega - dot. 14,6 mm			10ª rega - dot. 13,2 mm			
		24ant.	24ap.	90 ap.	24ant.	24ap.	70ap.	24ant.	24ap.	48ap.	70ap.
1	10	11,8	14,4	12,2	12,3	14,6	12,7	12,9	16,5	14,3	13,7
	20	15,3	17,9	16,1	16,1	17,3	16,2	17,1	18,9	17,9	17,4
	30	20,2	22,1	20,6	20,9	21,2	19,8	22,4	22,9	22,4	22,3
	40	21,3	23,8	21,3	21,1	21,5	20,7	22,7	22,9	22,5	22,6
	50	24,4	26,3	24,3	26,0	26,0	25,9	25,6	25,9	25,8	25,2
	60	24,8	26,8	24,4	26,7	26,9	26,3	25,9	26,3	25,8	25,2
	70	28,7	30,1	28,4	30,5	31,6	30,7	31,0	30,5	30,7	28,9
2	10	11,7	14,2	11,9	11,4	12,9	11,7	11,4	12,9	11,9	11,7
	20	13,6	15,6	13,6	12,8	13,8	13,0	12,5	13,7	13,0	12,9
	30	15,3	16,3	15,2	14,7	15,1	14,6	14,2	14,8	14,5	14,5
	40	16,1	16,5	16,0	15,6	15,6	15,3	15,0	15,3	15,1	15,2
	50	17,5	17,7	17,3	16,8	16,3	16,3	16,0	16,2	16,1	16,3
	60	20,5	20,7	20,3	19,9	19,5	19,3	18,7	19,0	18,9	19,4
	70	22,7	22,9	22,4	22,5	22,2	22,0	21,7	21,9	21,7	21,7
3	10	14,3	22,3	16,5	14,3	14,7	14,3	14,0	14,3	14,1	14,1
	20	16,1	23,9	19,5	16,4	16,5	16,2	16,0	16,0	16,0	15,9
	30	17,2	24,9	21,0	17,7	17,4	17,5	17,3	17,3	17,2	17,2
	40	26,0	28,8	26,7	27,7	28,0	26,8	27,6	27,6	27,4	27,0
	50	35,8	37,2	36,3	35,7	33,9	35,4	36,3	35,7	36,3	34,8
4	10	11,3	13,7	11,4	11,2	11,5	11,2	11,1	11,4	11,2	11,2
	20	12,3	14,7	12,3	11,4	11,9	11,4	11,3	11,6	11,4	11,3
	30	13,1	14,3	13,2	12,2	12,1	12,0	11,8	11,9	11,7	11,8
	40	15,3	16,2	15,1	14,2	14,2	14,0	13,7	13,9	13,8	13,6
	50	20,0	20,3	19,6	17,9	17,8	17,4	17,4	17,5	17,5	17,4
	60	25,9	26,2	26,8	26,3	26,4	25,8	25,5	25,9	25,8	25,6
	70	27,0	27,3	27,6	28,2	28,6	27,4	28,1	28,1	28,4	27,7
5	10	11,5	13,4	11,5	11,5	12,5	11,6	11,5	12,3	11,7	11,6
	20	13,4	15,0	13,3	13,0	13,5	13,0	12,8	13,1	12,9	12,9
	30	22,8	23,0	22,0	20,9	20,4	20,4	20,1	20,1	19,8	20,0
	40	31,0	30,6	29,8	29,4	28,6	28,5	28,9	28,6	28,6	28,6
	50	38,3	38,2	37,1	34,5	34,8	33,7	33,9	34,7	33,7	33,3
	60	40,7	41,0	40,0	39,3	38,9	38,9	37,6	38,6	38,1	38,3
	70	41,0	41,7	40,8	40,3	40,3	40,0	39,6	39,6	39,3	39,6
6	10	12,2	12,4	12,2	12,4	12,5	12,4	12,3	12,8	12,5	12,4
	20	14,1	14,1	14,0	14,0	13,9	13,9	13,9	14,0	14,0	13,9
	30	20,2	20,5	19,6	18,6	18,3	18,7	18,5	18,5	18,5	18,2
	40	16,0	16,0	15,6	15,0	14,8	14,6	14,5	14,5	14,3	14,4
	50	20,2	20,2	19,6	18,8	18,6	18,1	17,4	17,8	17,6	17,7
	60	36,9	37,4	36,3	36,8	37,1	34,9	35,9	35,4	34,2	34,8
	70	35,2	35,9	34,8	34,8	36,0	34,2	34,8	35,1	34,2	34,2



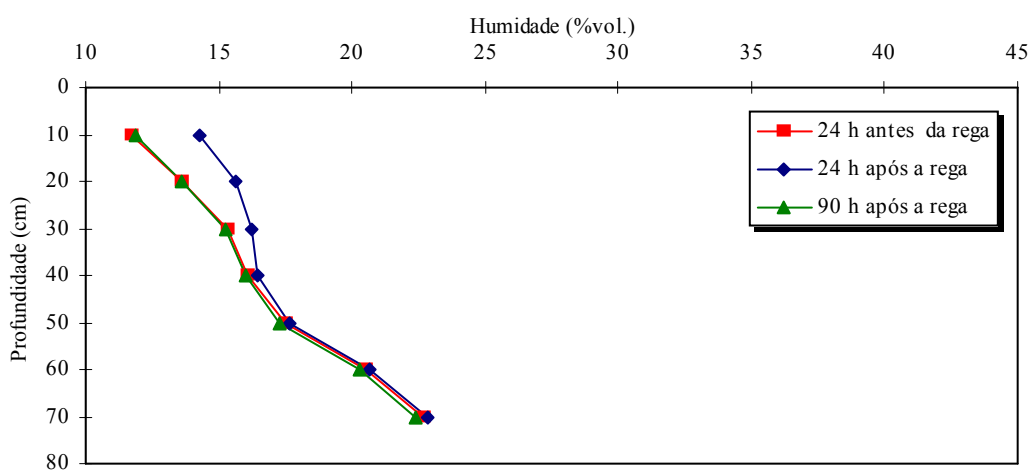
**Quadro 19 - Teores de humidade do solo (% volume), da 14ª e da 17ª rega.**

Es ta ção	Prof. (cm)	Teor de humidade do solo ( % volume )					
		14ª rega - dot. 10,4 mm			17ª rega - dot. 9,9 mm		
		24ant.	24ap.	48 ap.	24ant.	24ap.	48 ap.
1	10	12,9	17,2	15,2	13,9	17,1	15,2
	20	16,1	20,9	18,7	17,1	19,8	18,6
	30	20,2	22,5	21,6	21,0	22,2	21,6
	40	20,1	21,5	20,9	21,2	21,4	20,9
	50	24,4	24,3	24,8	25,2	25,0	24,8
	60	24,9	24,2	24,3	24,1	24,6	24,3
	70	30,5	30,6	30,0	30,0	29,5	30,0
2	10	11,2	12,3	11,5	11,1	11,5	11,5
	20	11,9	12,8	12,2	11,6	11,9	12,2
	30	13,3	13,6	13,4	12,9	13,0	13,4
	40	14,1	14,1	14,1	13,6	13,7	14,1
	50	15,1	14,9	15,1	14,5	14,7	15,1
	60	17,4	17,1	17,2	16,6	16,6	17,2
	70	20,2	20,1	19,8	19,3	19,2	19,8
3	10	13,5	13,6	13,6	13,4	13,6	13,6
	20	15,4	15,4	15,5	15,2	15,3	15,5
	30	16,8	16,5	16,8	16,6	16,5	16,8
	40	27,0	25,8	26,9	26,5	26,6	26,9
	50	34,8	34,9	34,9	34,8	35,2	34,9
4	10	11,1	11,4	11,3	11,2	11,5	11,2
	20	11,2	11,5	11,3	11,4	11,6	11,3
	30	11,7	11,7	11,7	11,7	11,9	11,7
	40	13,5	13,6	13,8	13,8	14,0	13,8
	50	17,4	17,3	17,8	17,7	18,0	17,8
	60	25,2	24,8	25,0	24,7	25,0	25,0
	70	27,2	25,6	27,0	26,5	26,6	27,0
5	10	11,5	12,4	11,7	11,5	11,9	11,7
	20	12,7	12,9	12,8	12,6	12,8	12,7
	30	19,6	19,5	19,5	19,2	19,5	19,5
	40	28,3	28,1	28,2	28,1	28,5	28,2
	50	33,0	33,1	32,8	32,9	32,8	32,8
	60	36,5	36,7	36,2	36,8	36,6	36,1
	70	38,3	37,4	37,0	37,6	37,4	37,0
6	10	12,2	12,2	12,2	12,1	12,1	12,2
	20	13,8	13,6	13,6	13,5	13,4	13,6
	30	17,7	17,5	17,5	17,2	17,2	17,4
	40	14,0	14,1	14,1	13,9	13,9	14,1
	50	16,8	16,9	16,8	16,3	16,3	16,8
	60	35,1	34,4	34,5	34,5	34,0	34,6
	70	33,9	34,3	34,3	33,9	33,7	34,3

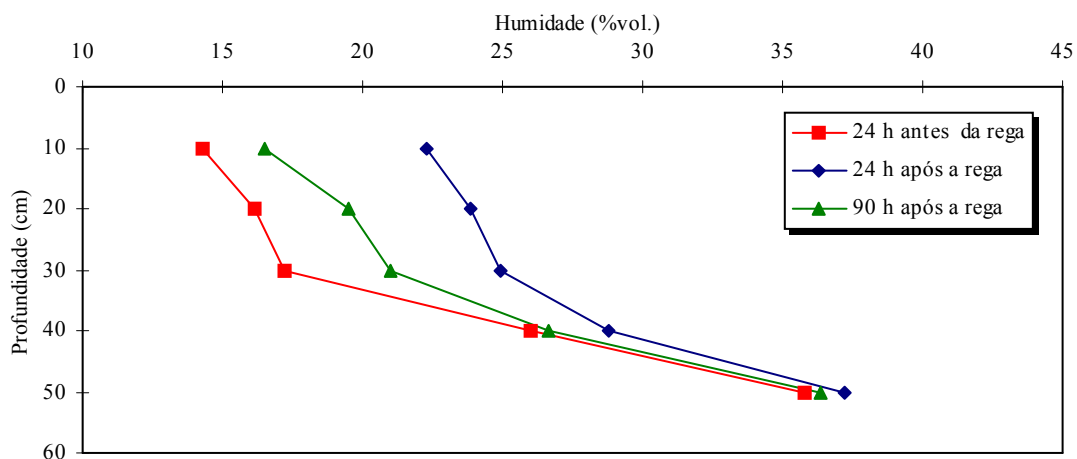
**Perfis de humidade do solo obtidos para a 5ª rega, quando a cultura já apresentava o sistema radicular totalmente desenvolvido (55 cm), realizada com velocidade 30 e com dotação recolhida de 16,8 mm.**



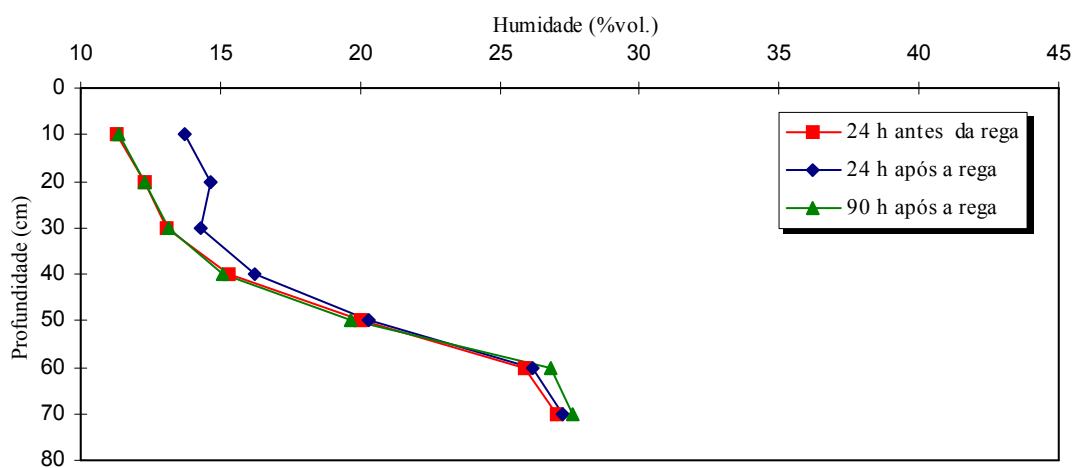
**Figura 43 - Perfil de humidade, antes e depois da 5ª rega, estação I.**



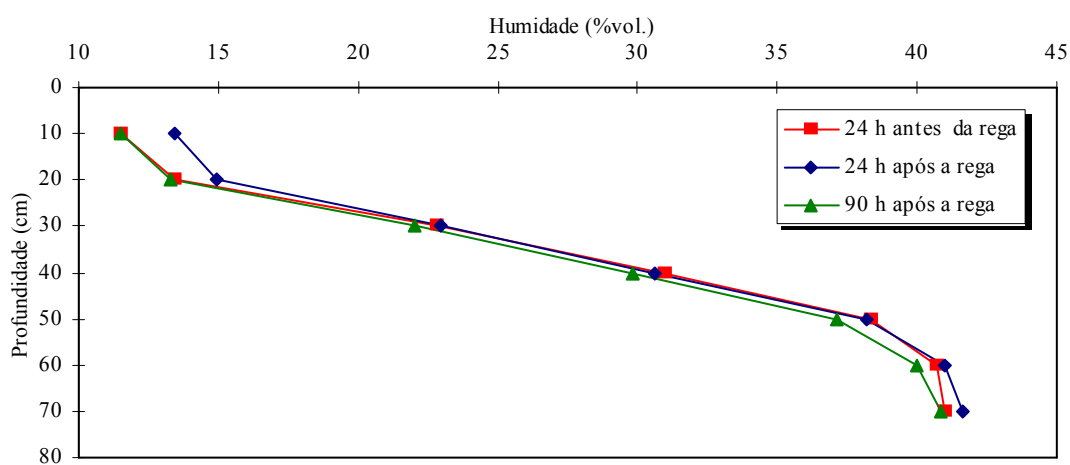
**Figura 44 - Perfil de humidade, antes e depois da 5ª rega, estação II.**



**Figura 45 - Perfil de umidade, antes e depois da 5ª rega, estação III.**

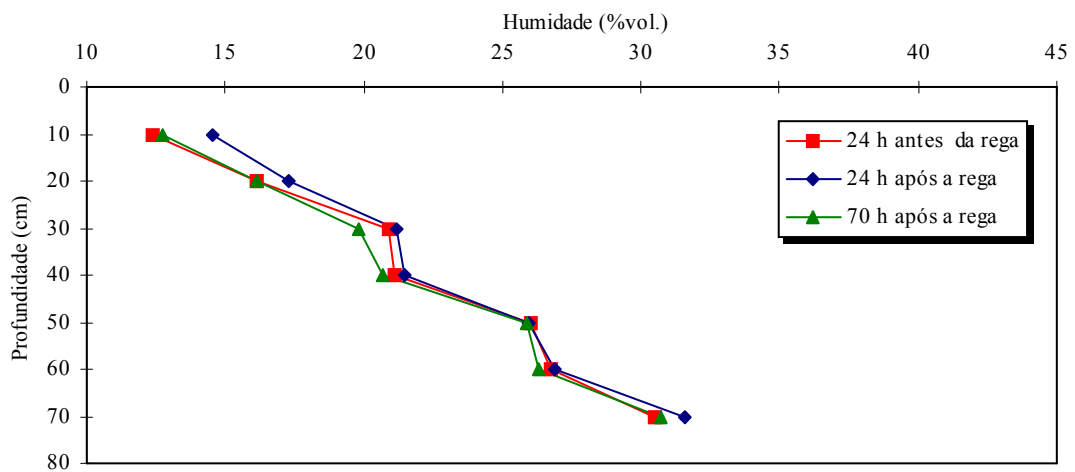


**Figura 46 - Perfil de umidade, antes e depois da 5ª rega, estação IV.**

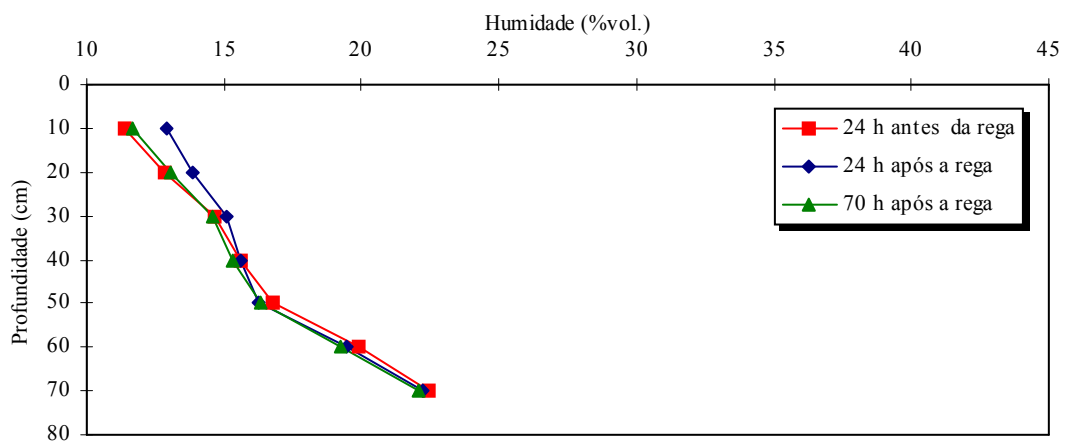


**Figura 47 - Perfil de umidade, antes e depois da 5ª rega, estação V.**

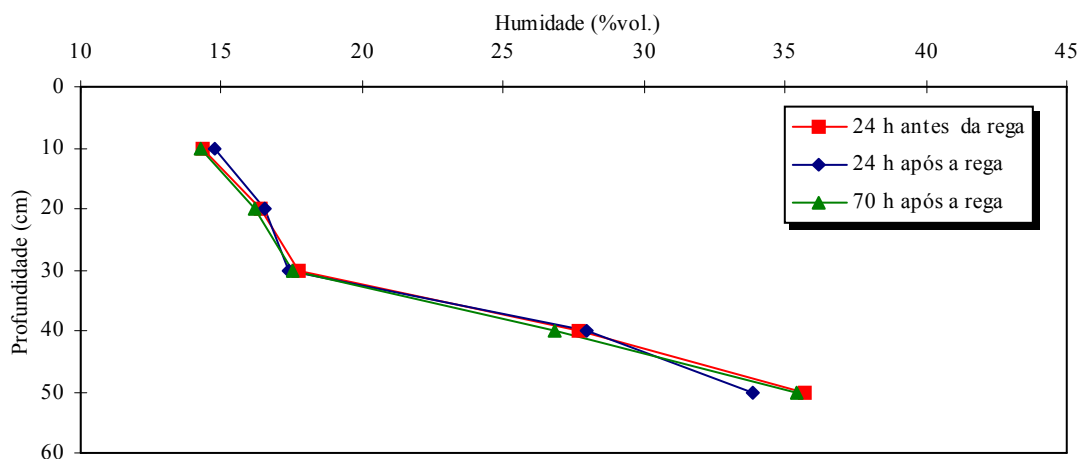
**Perfis de humidade do solo obtidos para a 8ª rega, realizada com velocidade 40 e com dotação recolhida de 14,6 mm:**



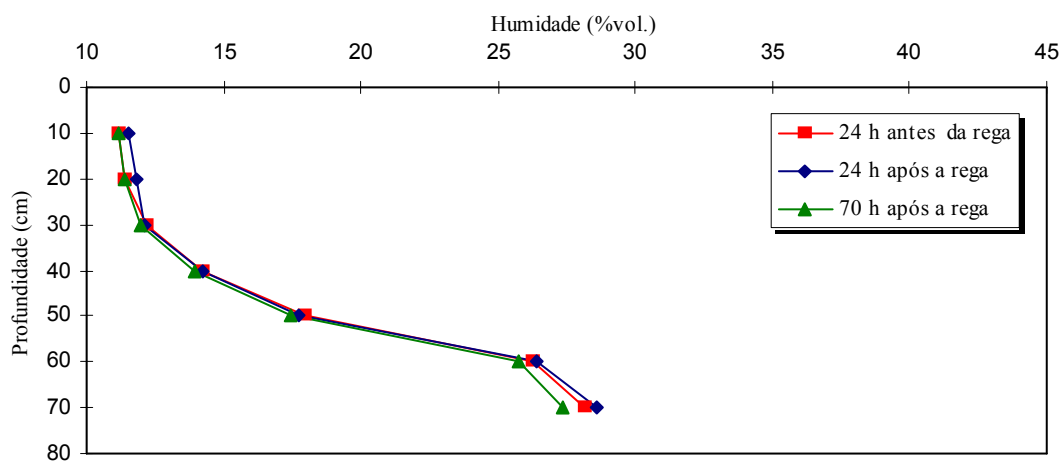
**Figura 48 - Perfil de humidade, antes e depois da 8ª rega, estação I.**



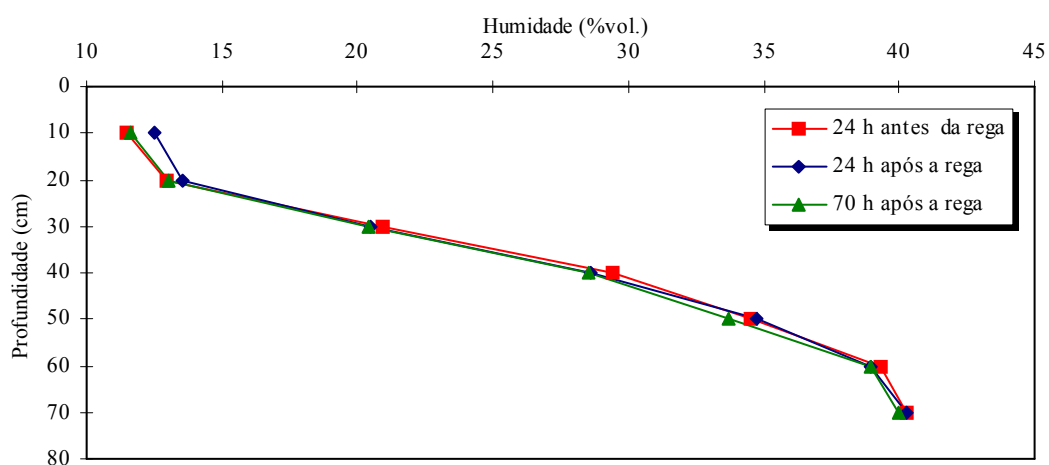
**Figura 49 - Perfil de humidade, antes e depois da 8ª rega, estação II.**



**Figura 50 - Perfil de umidade, antes e depois da 8ª rega, estação III.**

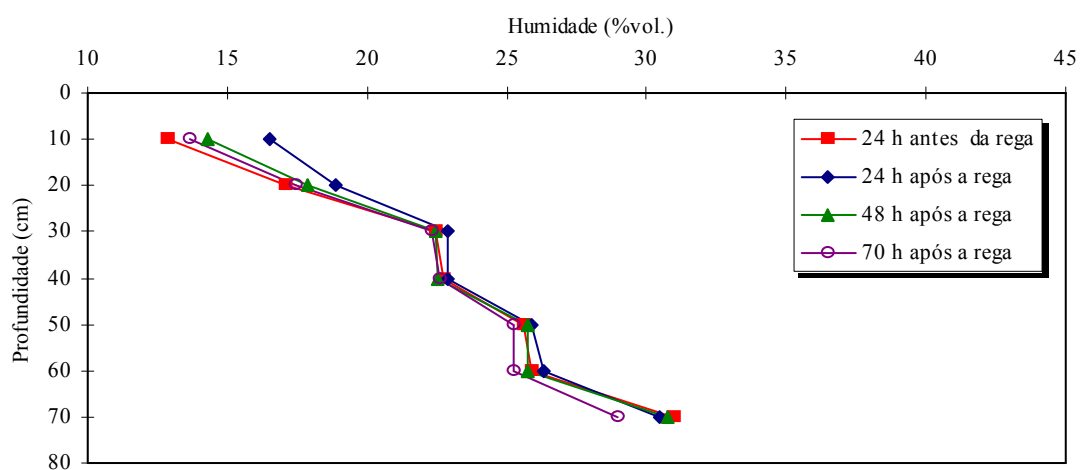


**Figura 51 - Perfil de umidade, antes e depois da 8ª rega, estação IV.**

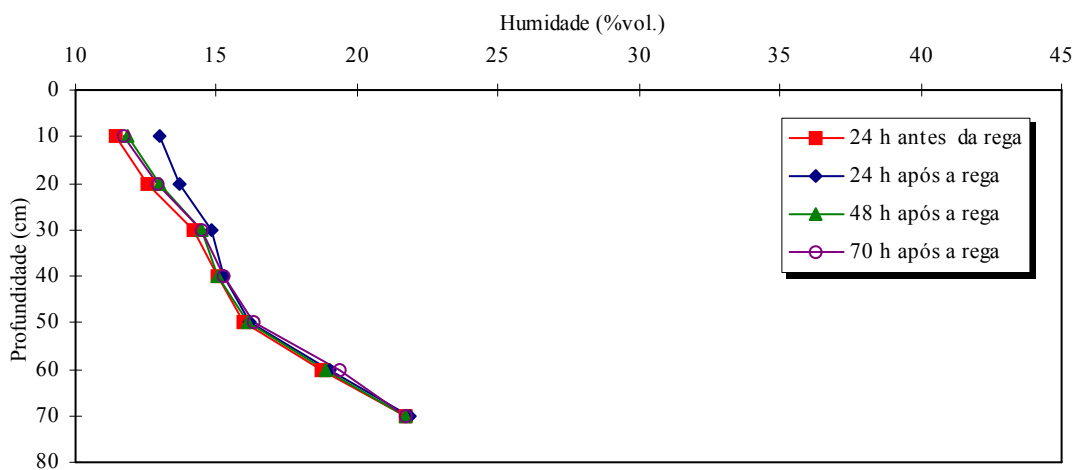


**Figura 52 - Perfil de umidade, antes e depois da 8ª rega, estação V.**

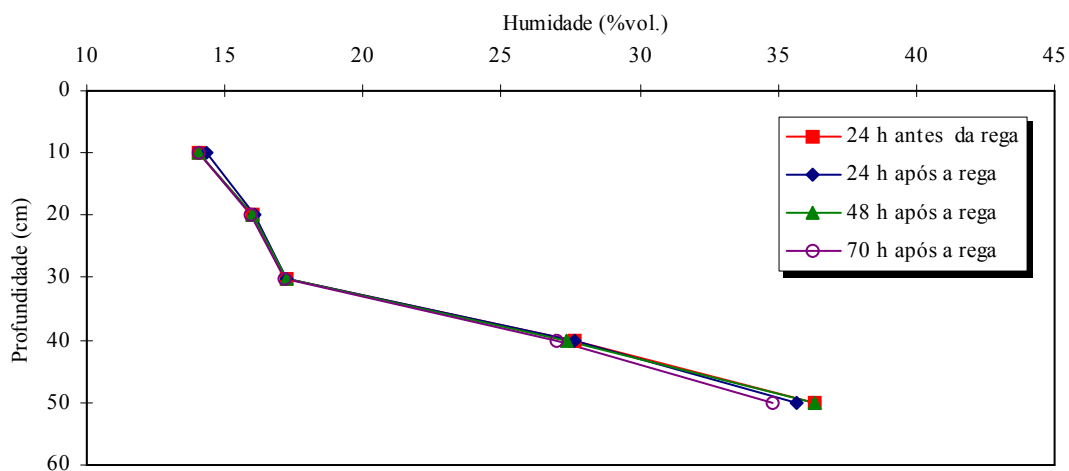
**Perfis de humidade do solo obtidos para a 10ª rega, realizada com velocidade 45 e com dotação recolhida de 13,2 mm:**



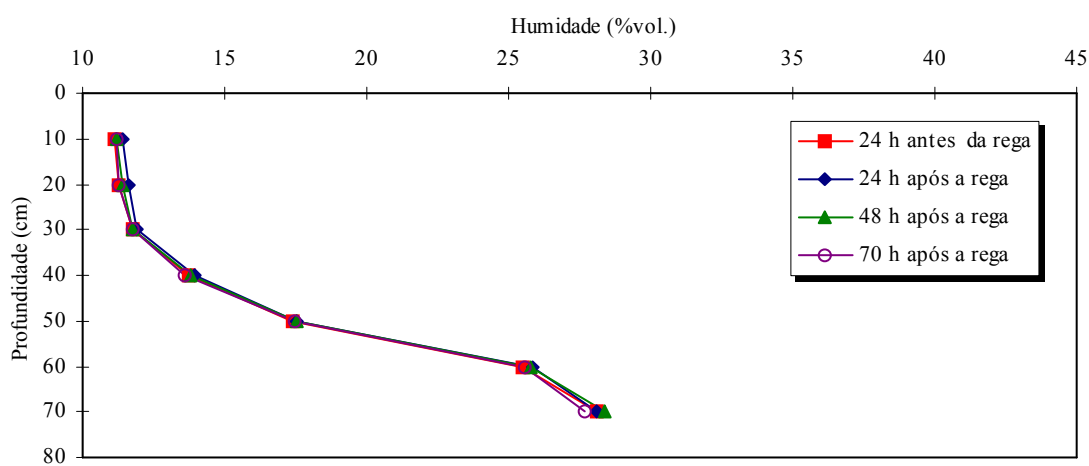
**Figura 53 - Perfil de humidade, antes e depois da 10ª rega, estação I.**



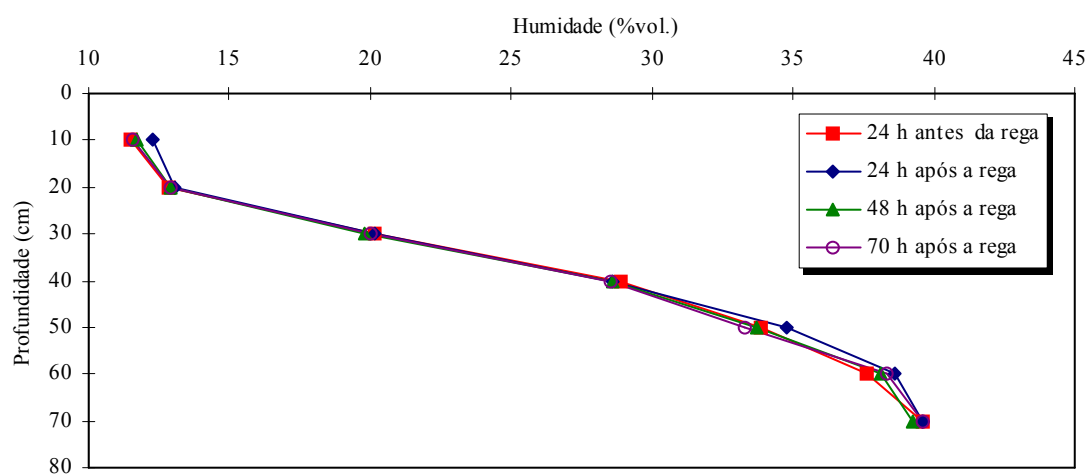
**Figura 54 - Perfil de humidade, antes e depois da 10ª rega, estação II.**



**Figura 55 - Perfil de umidade, antes e depois da 10ª rega, estação III.**

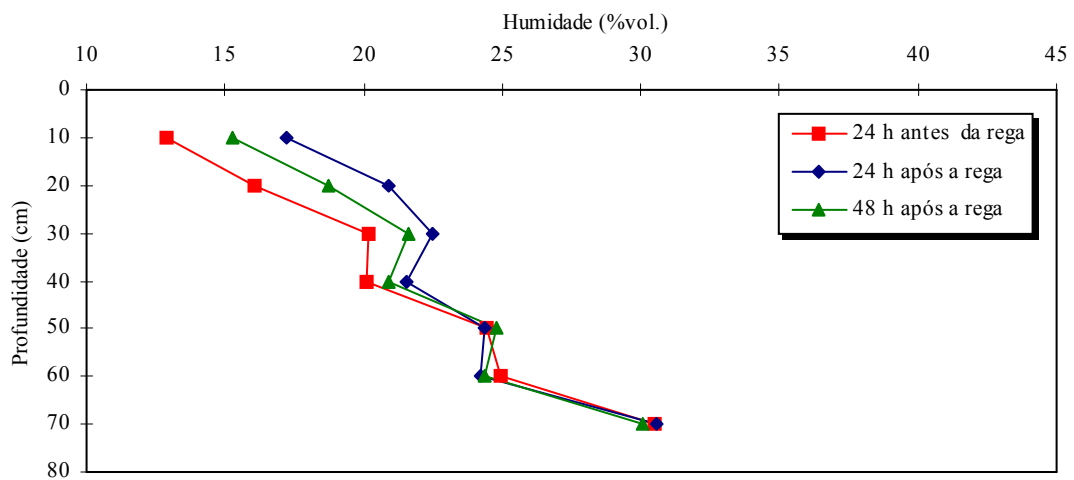


**Figura 56 - Perfil de umidade, antes e depois da 10ª rega, estação IV.**

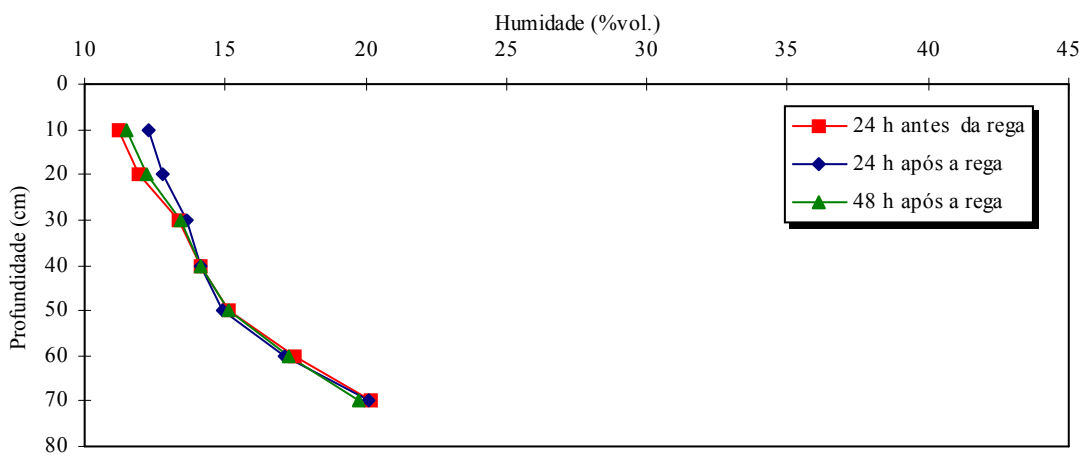


**Figura 57 - Perfil de umidade, antes e depois da 10ª rega, estação V.**

**Perfis de humidade do solo obtidos para a 14ª rega, realizada com velocidade 55 e com dotação recolhida de 10,4 mm:**

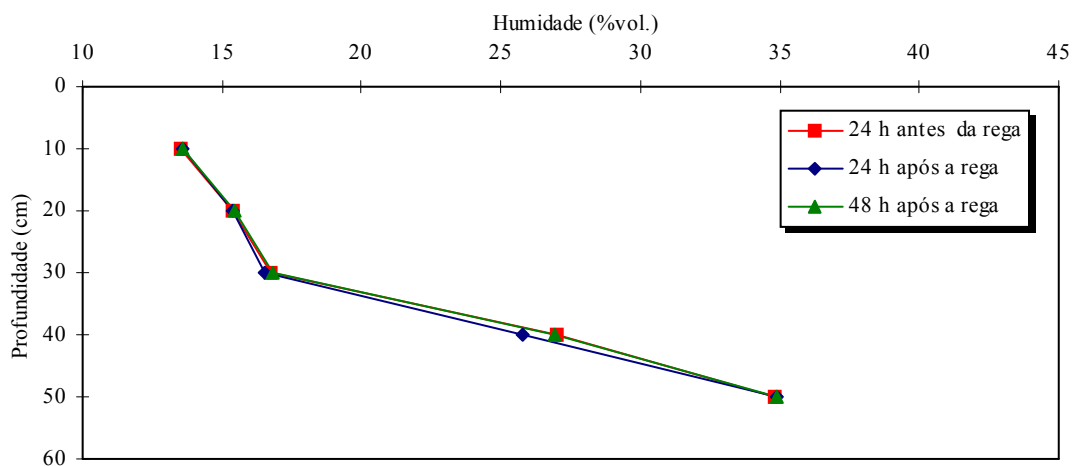


**Figura 58 - Perfil de humidade, antes e depois da 14ª rega, estação I.**

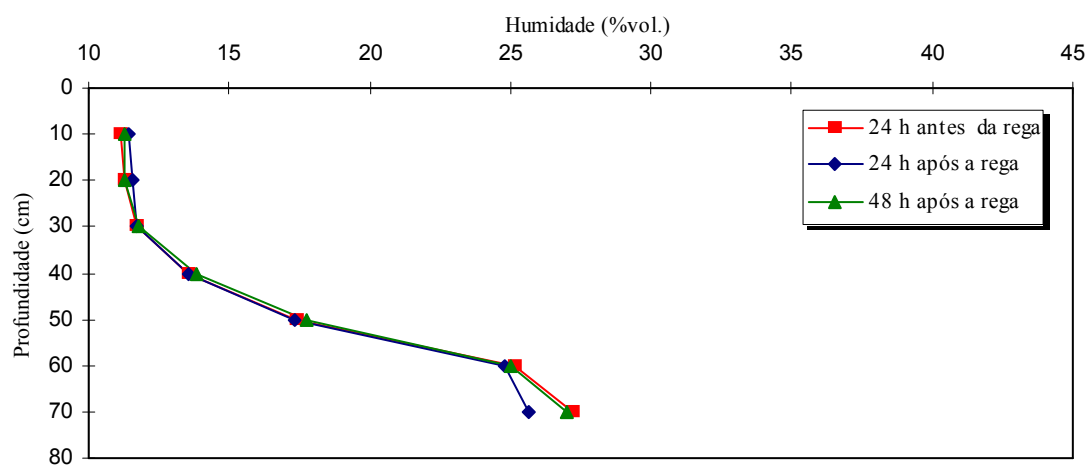


**Figura 59 - Perfil de humidade, antes e depois da 14ª rega, estação II.**

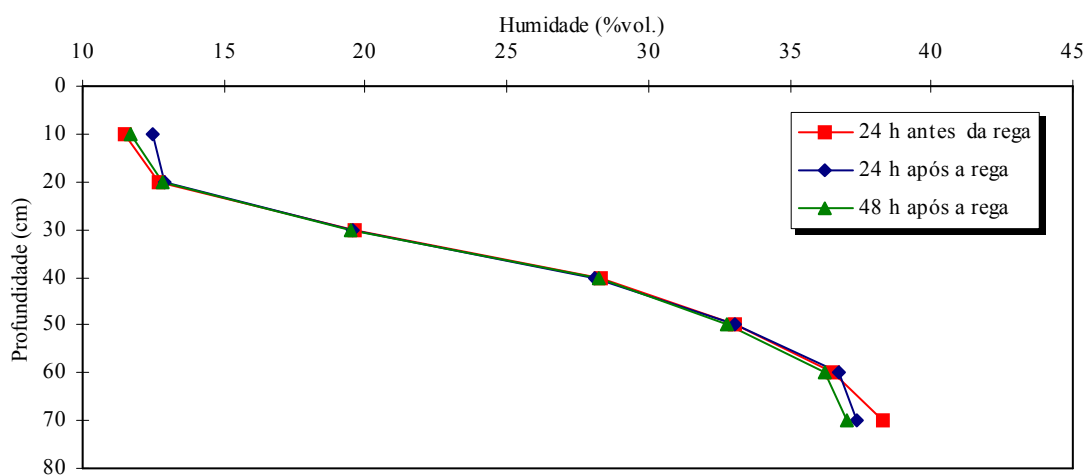




**Figura 60 - Perfil de umidade, antes e depois da 14ª rega, estação III.**

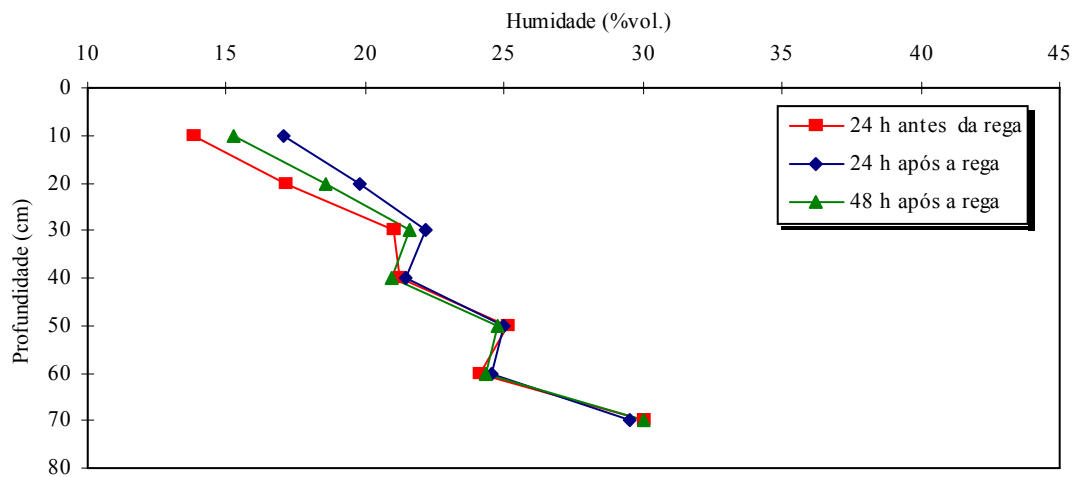


**Figura 61 - Perfil de umidade, antes e depois da 14ª rega, estação IV.**

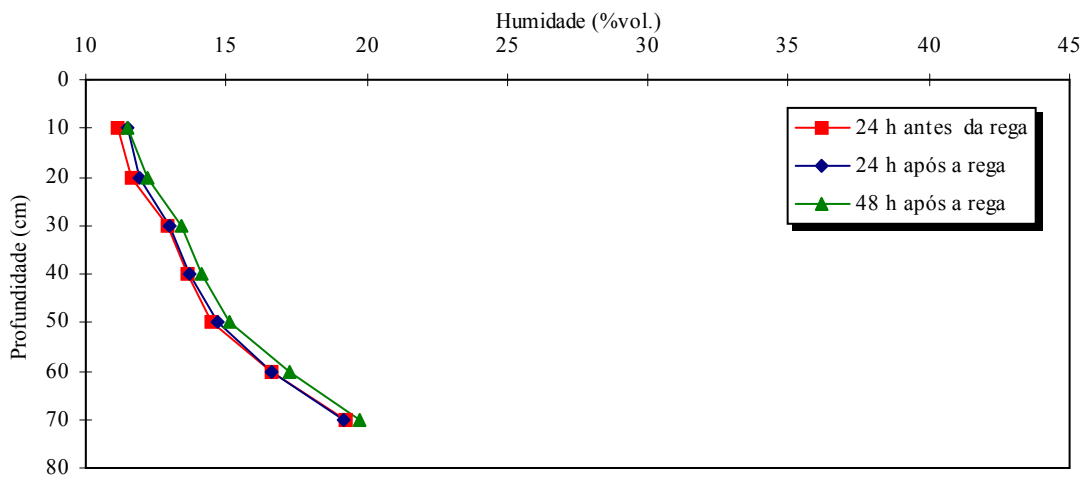


**Figura 62 - Perfil de umidade, antes e depois da 14ª rega, estação V.**

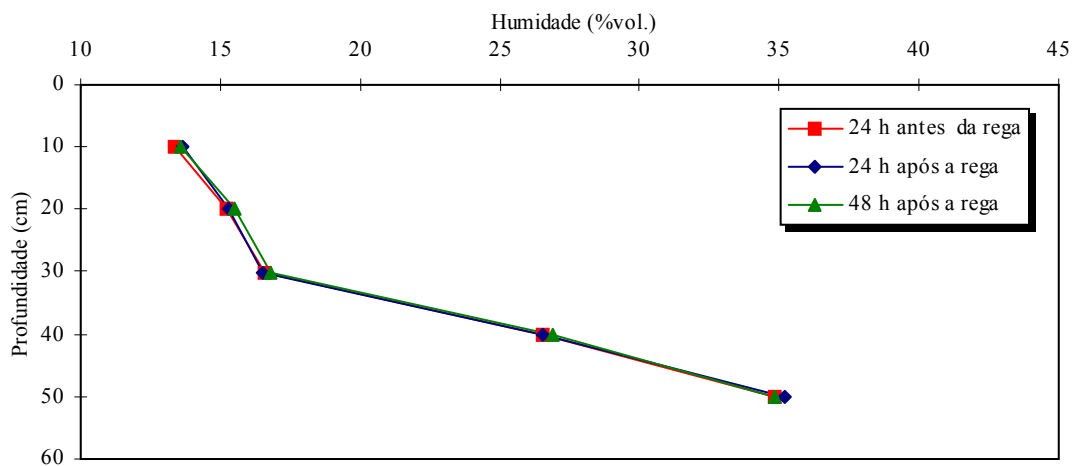
**Perfis de humidade do solo obtidos para a 17ª rega, realizada com velocidade 60 e com dotação recolhida de 9,9 mm:**



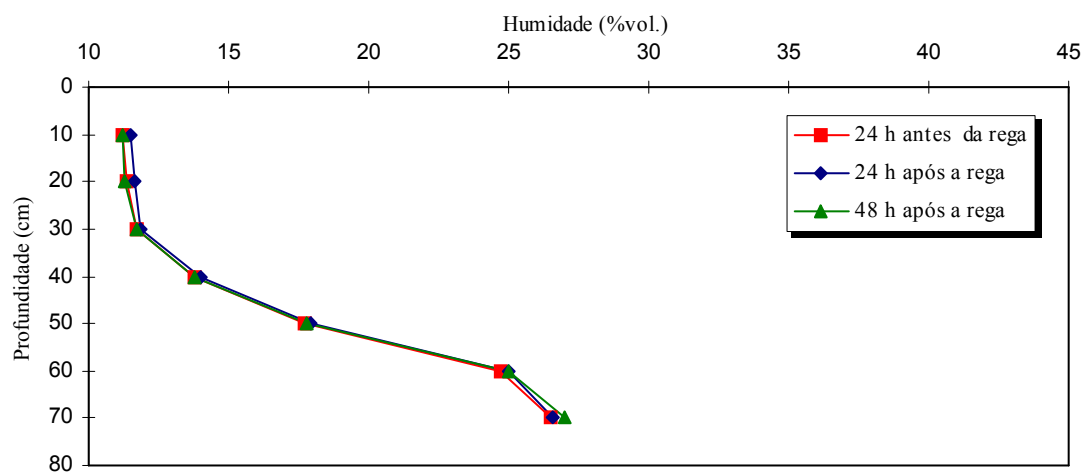
**Figura 63 - Perfil de humidade, antes e depois da 17ª rega, estação I.**



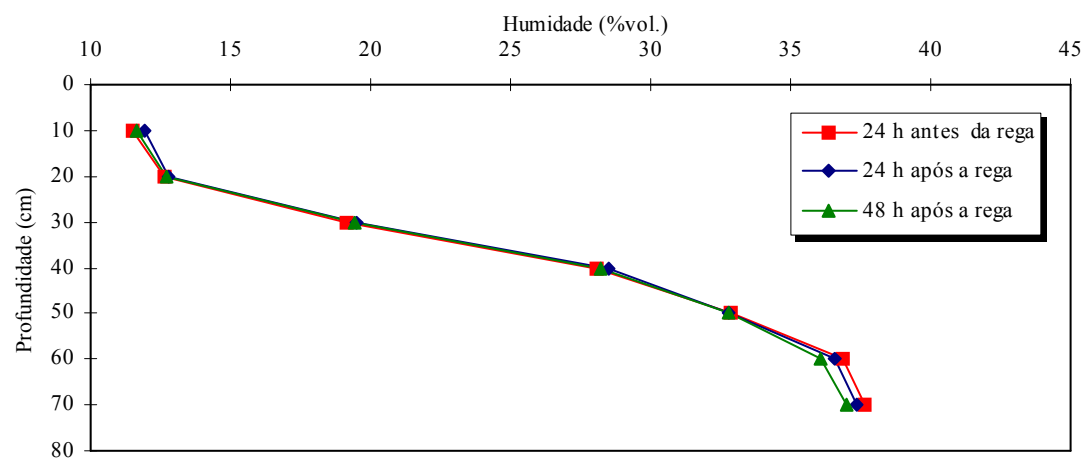
**Figura 64 - Perfil de humidade, antes e depois da 17ª rega, estação II.**



**Figura 65 - Perfil de umidade, antes e depois da 17ª rega, estação III.**



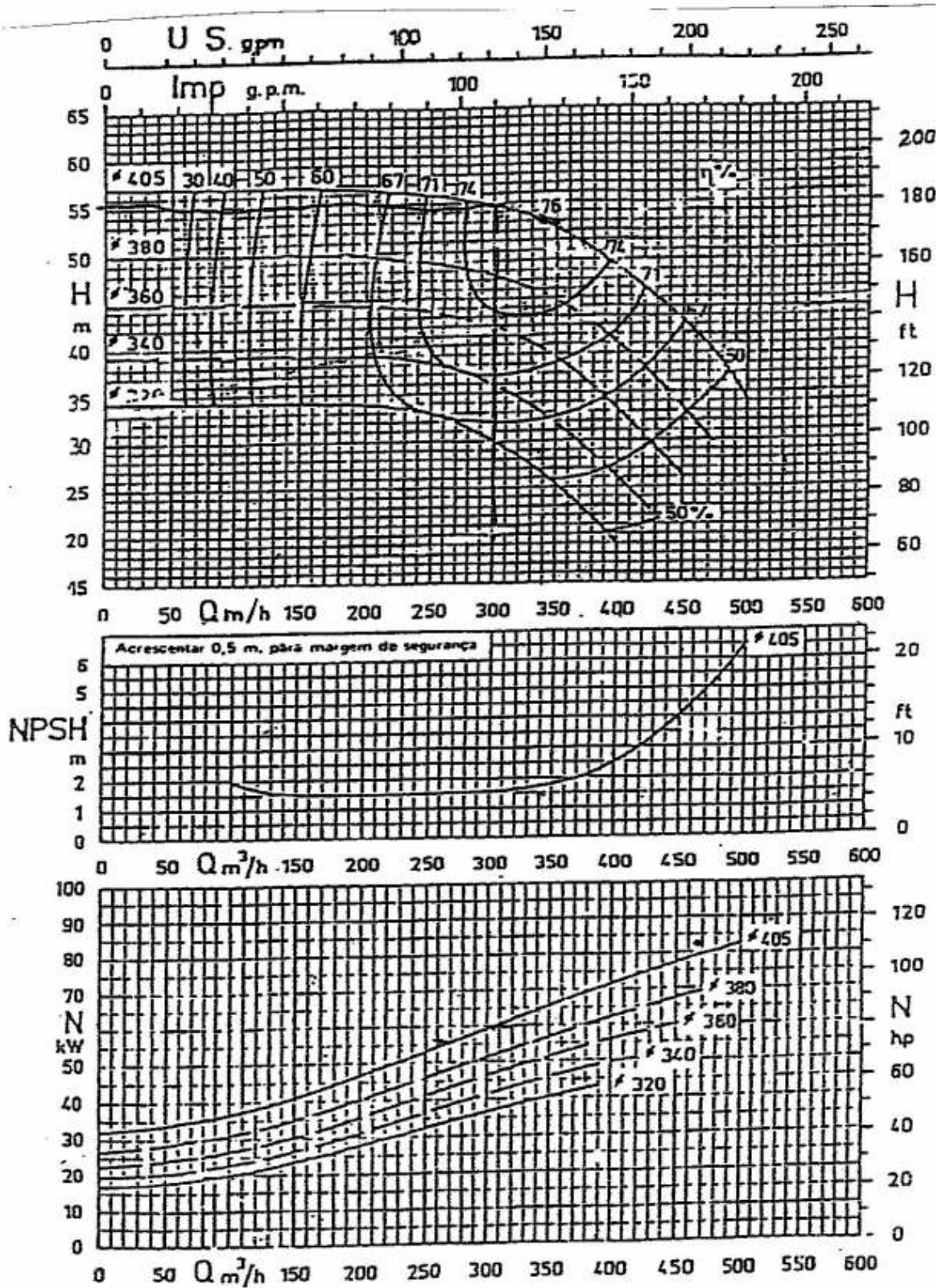
**Figura 66 - Perfil de umidade, antes e depois da 17ª rega, estação IV.**



**Figura 67 - Perfil de umidade, antes e depois da 17ª rega, estação V.**

# ANEO V

Curva característica da bomba Efacec NJ 150-400.



As curvas são válidas para água (peso específico  $\gamma = 1 \text{ Kg/dm}^3$ )

$n = 1470 \text{ r.p.m.}$